DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON

ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON

ERNST LAMLA

BEIRAT:

J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · A. BUTENANDT · C. W. CORRENS
H. J. DEUTICKE · R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · A. KÜHN
H. MARTIUS · R. W. POHL · W. WEIDEL

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

47. JAHRGANG **HEFT 23** (ERSTES DEZEMBERHEFT) **1960**

INHALT

AUFSÄTZE Seite

Wird es in Deutschland trockener? Von W. DAMMANN 529

KURZE BERICHTE

Kernresonanzabsorption mit eingefrorenem Rückstoß (Mößbaueffekt). Von I. Y. KRAUSE und G. LÜDERS 532

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN

Phänomenologische Betrachtungen zum Strahlungsgesetz. Von H. HARTMANN 536

Über die Koerzitivfeldstärke zonengeschmolzenen Eisens. Von A. MAGER und H. HILLMANN 537

Mechanische Wirkung von Röntgenstrahlen in Kristallen. Von W. GORSKI 537

Über die orientierte Aufwachsung von Diol-oligo-urethanen auf verstreckter Polyamidfolie. Von W. KERN, J. DAVIDOVITS und K. J. RAUTERKUS 538

Unterscheidung optischer Antipoden durch orientierte Aufwachsungen. Von W. KLEBER und L. ICKERT. 539

Über Cadmium-Vanadin-Spinelle. Von B. REUTER und G. MARX 539

Elektronenaffinität des Sauerstoffs. Von H. GOSSEL. 539

Über die Lage der Valenzfrequenz der N=N-Doppelbindung in Derivaten der Azodicarbonsäure. Von A. SIMON und H. WAGNER 540

The Phytochemistry on the Tobacco Alkaloids. II. Von T. KISAKI und E. TAMAKI 540

Die Wirkung der Desoxyribonuclease auf die Gewebsatmung von Rattenleberschnitten. Von E. SORU, A. EPERJESSY, A. KISS, J. CSEGEDI und CS. HADNAGY 541

Über den Stoffwechsel von Radiosamarium (^{153}Sm) in der weißen Maus. Von E. SPODE und F. GENSICKE 542

Zur Entropiebilanz der Zellvermehrung. Von W. STEIN . . . 542

Die Auflösung und Neubildung der Zellmembran bei der Konjugation von Paramecium. Von L. SCHNEIDER 543

In Form von Ascites transplantierbare leukämische Lymphadenose bei Mäusen. Von L. NÉMETH und B. KELLNER 544

„Entkopplung" von Krebsglykolyse und anoxygener Energie-(ATP)-bildung. Von F. WINDISCH, H. KERNER, W. HEUMANN, S. KÜNKEL und K. LEZIUS 545

Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Virogenese von Bergoldiavirus calypta Steinhaus. Von A. HUGER und A. KRIEG 546

Zur Reinfektion steriler *Sitodrepa*-Larven mit den eigenen Symbionten sowie mit denen von *Ernobius mollis*. Von H. KÜHLWEIN und G. JURZITZA 547

Überwindung der Selbstinkompatibilität durch Röntgenbestrahlung des Griffels. Von H. F. LINSKENS, J. A. M. SCHRAUWEN und M. VAN DEN DONK 547

Die kontrollierbare Aufzucht der Reblaus auf Gewebekulturen von Reben. Von G. RILLING und F. RADLER 547

Echoorientierung bei *Mixodiaptomus laciniatus*. Von R. SCHRÖDER. 548

Zur Herkunft primärer Flügeltracheen nach dem Ausfall des lateralen Tracheenbogens bei dem Eichenseidenspinner Antheraea pernyi Guér. Von M. E. LEMPPENAU 549

Anlockung weiblicher Stechmücken (Aëdes aegypti L., Culicidae) mit Duftstoffen. Von P. ROESSLER 549

Beitrag zur Analyse der Werbetanzformen der Honigbiene. Von W. WITTEKINDT 551

Geruch und Geschmack bei den augenlosen Höhlenfischen Anoptichthys Jordani, Hubbs und Innes und Anoptichthys Hubbsi, Alvarez. Von I. HUMBACH 551

Cyclodendron KRSL., eine lycopodiale Sonderform der permischen Gondwana-Flora Afrikas. Von R. KRÄUSEL . . . 551

BESPRECHUNGEN

M. BORN und E. WOLF: Principles of Optics. (Ref.: G. LÜDERS) 552

F. HELFFERICH: Ionenaustauscher. Bd. I. Grundlagen: Struktur, Herstellung, Theorie. (Ref.: M. BECKER). 552

Berichtigung 552

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Begründet 1913 von *A. Berliner* und *C. Thesing*. 1934/35 herausgegeben von *H. Matthée*, 1936—1944 herausgegeben von *F. Süffert*, 1945—1949 herausgegeben von *A. Euchen*.

Beilage: „Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte".

Bildet die Fortsetzung der „Naturwissenschaftlichen Rundschau", begründet 1886 und bis 1912 (Jahrgang 27) herausgegeben von *J. Bernstein, V. Meyer, B. Schwalbe, W. Sklarek* u. a. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Organ der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (bis 1948 Organ der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft).

Die **„Naturwissenschaften"** erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung und jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 15.— DM, für das einzelne Heft 3.— DM, zuzüglich Postgebühren. Für Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Studierende der Naturwissenschaften ermäßigt sich der Bezugspreis auf vierteljährlich 12.— DM zuzüglich Zustellgebühren. Lieferung läuft weiter, wenn nicht vier Wochen vor Quartalschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar.

Grundsätzlich dürfen nur Arbeiten eingereicht werden, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet. Mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung durch den Verlag geht das Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder einschließlich des Rechts der photomechanischen Wiedergabe oder einer sonstigen Vervielfältigung an den Verlag über. Jedoch wird gewerblichen Unternehmen für den innerbetrieblichen Gebrauch nach Maßgabe des zwischen dem Börsenverein des Deutschen Buchhandels e.V. und dem Bundesverband der Deutschen Industrie abgeschlossenen Rahmenabkommens die Anfertigung einer photomechanischen Vervielfältigung gestattet. Wenn für diese Zeitschrift kein Pauschalabkommen mit dem Verlag vereinbart worden ist, ist eine Wertmarke im Betrage von DM 0.30 pro Seite zu verwenden. *Der Verlag läßt diese Beträge den Autorenverbänden zufließen.*

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anschrift der Redaktion:
(20b) Göttingen, Jennerstr. 21, Tel. 59717

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin-Wilmersdorf, Heidelberger Platz 3, Fernsprecher 830301) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag
Berlin · Göttingen · Heidelberg

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Redaktionelle Hinweise

I. Allgemeines

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen engbegrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platzmangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z.B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Die KOM erscheinen „unter ausschließlicher Verantwortung der Autoren". Eine wissenschaftlich-kritische Stellungnahme der Herausgeber zu ihrem Inhalt erfolgt nicht. Die Redaktion prüft lediglich, ob ein genügendes Allgemein-Interesse vorliegt.

4. „Kurze Originalmitteilungen" aus dem englischen und französischen Sprachgebiet können in der Originalsprache veröffentlicht werden.

II. Spezielle Hinweise

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,
(20b) Göttingen, Jennerstr. 21, Tel. 59717.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterungen des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Fotografische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen

Die Autoren der Aufsätze, Berichte und Buchbesprechungen erhalten eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung erbeten wird.

Bei den KOM wird zur Beschleunigung des Erscheinens die Korrektur von Text und Abbildung von der Redaktion besorgt, soweit nicht der Autor bei Einsendung des Manuskriptes ausdrücklich den Wunsch äußert, diese Arbeit selbst vorzunehmen. Bei KOM ohne Figuren soll hierdurch das Erscheinen innerhalb 4 Wochen nach Eingang bei der Redaktion ermöglicht werden.

Besprechungsexemplare

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Besprechungsexemplaren abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die gegebenenfalls dann ein Exemplar anfordern wird. Für die Rückgabe unverlangter Besprechungsexemplare kann keinerlei Gewähr übernommen werden.

Mitteilungen aus dem Max-Planck-Institut für Aeronomie

Herausgegeben von J. Bartels und W. Dieminger

Nummer 3 (I) 1960:

Bewegung der F-Schicht der Ionosphäre bei erdmagnetischen Bai-Störungen

Von H. Kohl

Mit 20 Abbildungen. 36 Seiten 4°. 1960. DM 4,80

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

47. Jahrgang Heft 23 (Erstes Dezemberheft) 1960

Wird es in Deutschland trockener?

Von WALTER DAMMANN, Frankfurt a. M.

Diese Frage pflegt immer dann gestellt zu werden, wenn ein so eindrucksvoll trockener und warmer Sommer wie der des Jahres 1959 vorübergegangen ist und man besorgt darauf wartet, ob das in den Talsperren und den Wasserreserven des Bodens entstandene Defizit im darauffolgenden Winter wieder voll ersetzt wird. Die Meteorologen — nach ihrer Meinung befragt — verweisen dann meist auf die Wechselhaftigkeit unserer Witterung, die einen Ausgleich früher oder später schon wieder herbeiführen werde. Wenn man sich sehr lange meteorologische Beobachtungsreihen daraufhin ansieht, und es gibt einige, die schon 200 Jahre umfassen, dann erscheint dieser Hinweis berechtigt.

Aber die Frage hat für uns heute doch einen sehr ernsten Hintergrund. Auf der einen Seite wird die Versorgung mit Wasser bei dem ungeheuer steigenden Bedarf zu einem immer schwierigeren Problem, und auf der anderen Seite liegen Berichte dafür vor, daß manche wärme- und trockenheitsliebenden Tiere und Pflanzen ihre Verbreitungsgebiete zu verschieben beginnen, was als Zeichen einer echten Klimaänderung gedeutet wird. Nun gibt es allerdings auch im meteorologischen Schrifttum eine sehr umfangreiche Literatur über klimatische Veränderungen oder Klima-Schwankungen, so daß wenigstens über die Existenz solcher Vorgänge kein Zweifel besteht. Gewöhnlich macht man sich aber ein falsches Bild über das wirkliche Ausmaß solcher Änderungen, zumal bei uns in Deutschland, und darauf ist auch die Fragestellung unseres Themas zurückzuführen. Wie liegen die Dinge nun wirklich?

Hierzu zunächst einige Vorbemerkungen. Bei der Variabilität der meteorologischen Elemente, die für die Mitte des Klimagürtels der gemäßigten Breiten, in dem wir leben, typisch ist, kann man von vornherein nicht damit rechnen, daß einmal der Fall eintreten könnte, es würde von Jahr zu Jahr fortgesetzt wärmer oder kälter. Es kann vielmehr vorausgesetzt werden, daß der Witterungswechsel als solcher und damit die Aufeinanderfolge zu nasser und zu trockener, zu kalter und zu warmer Jahre oder Jahreszeiten in jedem Falle bestehen bleibt. Wenn man also der Frage unseres Themas überhaupt nähertreten will, kann es sich nur darum handeln herauszufinden, ob in einer gewissen *längeren* Zeitspanne, etwa von einigen Jahren oder Jahrzehnten, ein Überschuß oder Fehlbetrag an Wärme und Feuchtigkeit zurückgeblieben ist. Der extreme Charakter einzelner Jahre könnte unter Umständen zu einer völlig falschen Beurteilung führen. Daß man längere Zeitspannen zugrunde legen muß, findet auch darin seine Berechtigung, daß die Regeneration des Bodenwasservorrates einer bestimmten Tiefenstufe ja ebenfalls Jahre beansprucht oder daß sich auch die Areale der Pflanzen- und Tierwelt für die Dauer nur in größeren Zeiträumen verschieben.

Als Meteorologe kann man sich außerdem rein formal auf einen Beschluß einer internationalen Konferenz in Warschau vom Jahre 1935 berufen, der von der nach dem Kriege gegründeten Weltorganisation für Meteorologie im Prinzip anerkannt worden ist, daß nämlich klimatologische Mittel- und Häufigkeitswerte, aus Gründen der Vergleichbarkeit, aus dreißigjährigen meteorologischen Beobachtungsreihen gebildet werden sollten. Man könnte also definieren, daß man von klimatischen Veränderungen dann sprechen kann, wenn sich die dreißigjährigen Mittel- und Häufigkeitswerte nach der einen oder anderen Richtung hin verschieben.

Um dies für Deutschland zu untersuchen, sind dreißigjährige *übergreifende* Mittelwerte verschiedener Elemente für die fünf Sommermonate Mai bis September 1890/1919, 1891/1920, 1892/1921 usw. bis 1928/1959 gebildet worden, wobei die Jahre 1945 und 1946 wegen zu großer Beobachtungslücken ausgelassen werden mußten; sie wurden bei der Mittelbildung übersprungen. Um nicht von den Zufälligkeiten einer einzelnen Station abhängig zu sein (Beobachterwechsel, Stationsverlegungen innerhalb des Ortes usw. können die Homogenität meteorologischer Reihen entscheidend stören), wurde eine Kollektiv-Reihe aus 72 gut verteilten Stationen der Bundesrepublik aufgestellt. Dabei sind nahezu alle Stationen „höherer Ordnung" verwendet worden, die überhaupt seit 1890 so ziemlich lückenlos in Tätigkeit waren und alle „gängigen" meteorologischen Elemente aufgezeichnet haben. Es handelt sich bei den so gebildeten dreißigjährigen Kollektiv-Mitteln also um *Gebietsmittelwerte* für ganz Westdeutschland. Die Zusammenfassung eines so ungeheuer großen Materials (dreimal tägliche Messungen!) sollte der Sicherung der Ergebnisse zugute kommen.

Das Resultat ist folgendes (Fig. 1 a—g):

1. Die Sommer sind in Deutschland *wärmer* geworden, denn die Anzahl der sog. „Sommertage", d.h. der Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 25° C, ist von 1890/1919 bis 1928/1959 von etwa 24 auf annähernd 30, also um rund 6 Tage gestiegen.

Der aus den 72 Stationen berechnete sechzigjährige Durchschnittswert von 1890 bis 1951 (ohne 1945/46) beträgt 26,7 Tage. Die *regionalen* Unterschiede sind übrigens außerordentlich groß: Kiel hat im Durchschnitt 5 Sommertage, Hamburg 13, Hannover 22, Frankfurt a.M. 39 und Freiburg i.Br. 44! Die Unterschiede sind eine Funktion der geographischen Breite und der klimatischen Kontinentalität. Entsprechend verringert und vergrößert sich örtlich auch das Maß der hier festgestellten langfristigen Änderungen.

Die meisten Sommertage seit 1890 brachte das Jahr 1947. Es hatte im Mittel von je 36 Stationen in Norddeutschland 53, in Süddeutschland 69 Sommertage. An zweiter Stelle liegt der Sommer 1911 mit 40 bzw. 55 Sommertagen, folgt also im weiten Abstand. Das Jahr 1959 rangiert mit 39 Sommertagen im

Norden an dritter, im Süden mit 47 Sommertagen aber erst an siebenter Stelle. Die wenigsten Sommertage brachte in Norddeutschland das Jahr 1916 (7 Tage), in Süddeutschland das Jahr 1913 (16 Tage).

Auch hier muß man sich natürlich vergegenwärtigen, daß die Verteilung der Niederschläge große regionale Unterschiede aufweist. Den niederschlagsreichen Mittelgebirgen und Nordalpen stehen Gebiete wie etwa das Rhein-Main-Becken gegenüber, die sich dagegen als ausgesprochene Mangelgebiete ausnehmen. Die Unregelmäßigkeit des Kurvenverlaufes, die wir in der Darstellung bemerkten, wird aber auch noch dadurch erzeugt, daß sich Nord- und Süddeutschland — durch die Mittelgebirgsschwelle wirksam getrennt — bei den langfristigen Änderungen des Niederschlags zeitweise ganz unterschiedlich verhalten. Das kommt

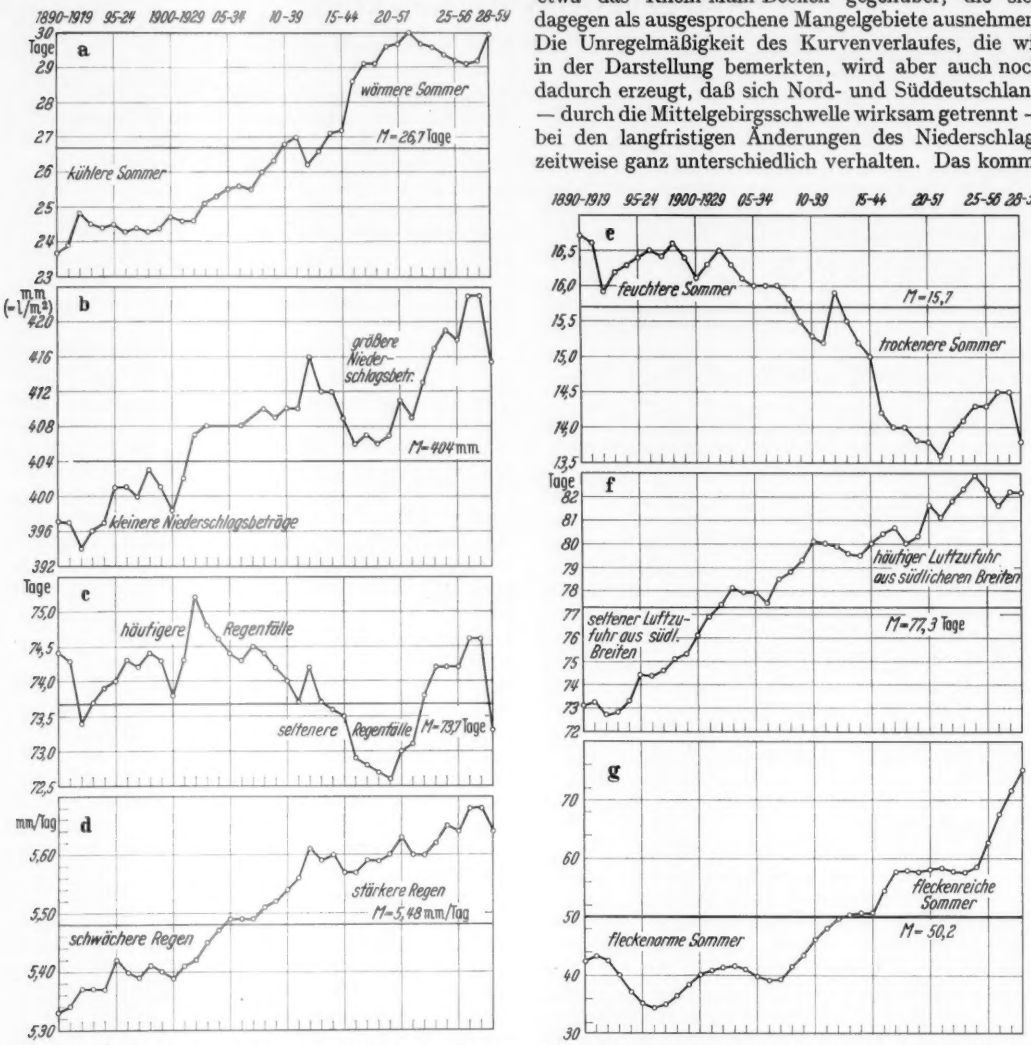


Fig. 1 a—g. Übergreifende dreißigjährige Mittelwerte 1890/1919 bis 1928/1959 (ohne 1945 und 1946) von 72 Stationen des Bundesgebietes (jeweils die Sommermonate Mai bis September). M = sechzigjährige Mittelwerte 1890 bis 1951 (ohne 1945/46). a Anzahl der „Sommertage" (Tage mit $t_{max} \geqq 25{,}0°$ C), $M = 26{,}7$ Tage. b Niederschlagshöhe in mm (1 mm = 1 Liter/m²). $M = 404$ mm. c Anzahl der Tage mit Niederschlag $\geqq 0{,}1$ mm. $M = 73{,}7$ Tage. d „Niederschlagsdichte" $= \frac{\text{Niederschlagshöhe (mm)}}{\text{Anzahl der Tage mit Niederschlag} \geqq 0{,}1\text{mm}} \cdot M = 5{,}48$ mm/Niederschlagstag. e „Feuchteindex" $= \frac{\text{Niederschlagshöhe (mm)}}{\text{Anzahl der „Sommertage"}} \cdot M = 15{,}7$. f Anzahl der Tage mit Gradientwindrichtung aus dem Südhalbraum. $M = 77{,}3$ Tage. g Sonnenflecken-Relativzahlen (monatlicher Durchschnitt). $M = 50{,}2$

2. Die sommerlichen *Niederschlagssummen* sind *größer* geworden, wobei der Anstieg der übergreifenden Mittelwerte allerdings nicht so regelmäßig vor sich gegangen ist wie bei den Sommertagen. Das erscheint nicht verwunderlich, wenn man sich die größere örtliche Veränderlichkeit dieses Elementes vor Augen hält. Immerhin geht aus der Darstellung hervor, daß der Quadratmeter Bodenfläche im Zeitraum 1926/1957 fast 30 Liter Regen mehr bekam als im Zeitraum 1892/1921. Der sechzigjährige Durchschnittswert beträgt 404 Liter. dadurch zustande, daß Süddeutschland leichter in den Bereich von Mittelmeerstörungen gerät, die gerade oft von sehr starken Niederschlägen begleitet sind. Beispiel: Überschwemmungskatastrophe im Donaugebiet im Sommer 1954!

Die größten Niederschlagssummen wurden in Süddeutschland im Kriegssommer 1940 mit 640 mm = 640 Liter pro Quadratmeter gemessen, was 138% des sechzigjährigen Mittels entspricht. Es ist bezeichnend, daß der gleiche Sommer in Norddeutschland mit

355 mm oder 104% nur eben über den Durchschnitt gelangte. Hier steht der Sommer 1927 an der Spitze mit 495 mm = 145%, der im Süden erst als zehnter rangiert. Am niederschlagsärmsten war in Norddeutschland der Sommer 1959 mit einem Gebietsmittel von nur 168 mm = 49% des langjährigen Durchschnitts. In Süddeutschland erzielte er dagegen 382 mm = 82% und stand damit in unserer Rangordnung von unten gerechnet erst an dreizehnter Stelle. Hier gab es also nicht weniger als 12 Sommer, die noch niederschlagsärmer waren als der letztvergangene. Manche Stationen am Alpenrand hatten sogar mehr als 100% erhalten, während andererseits in der Gegend von Braunschweig, Nienburg und an der Nordseeküste nur ein Drittel der durchschnittlichen Menge gefallen war.

3. Der Verlauf der Kurve, die die Anzahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 0,1 mm wiedergibt, scheint dem Gange der Niederschlagssummen ähnlich zu sein, jedoch mit dem Unterschied, daß die *Niederschlagshäufigkeit* im Laufe der Zeit im ganzen etwas *geringer* geworden ist. Jedenfalls ist die Anzahl der Niederschlagstage zu Anfang des Zeitraums etwa in der Zeit der kleinen Niederschlagssummen relativ groß, umgekehrt in der Zeit der größeren Summen relativ klein.

4. Bildet man daher die Verhältniszahlen Niederschlagssummen zu Anzahl der Niederschlagstage, so ergibt sich wieder ein ziemlich regelmäßiger Anstieg, der besagt, daß die Niederschlagsbeträge pro Niederschlagstag allmählich angewachsen sind. Die „Niederschlagsdichte" oder wie man vielleicht sagen könnte: die *Intensität* der Niederschläge ist *größer* geworden — im Rahmen der bisherigen Feststellungen zweifellos ein sehr bemerkenswertes Ergebnis, dessen Zuverlässigkeit nur durch das hier benutzte große Material verbürgt werden kann.

5. Entscheidend für die Fragestellung des Themas ist allerdings, ob sich die *Verdunstung* in irgendwie nennenswertem Maße geändert hat. Leider liegen jedoch von keiner der 72 Stationen direkte Verdunstungsmessungen vor. Ersatzweise hat man früher oft einen — vom physikalischen Standpunkt aus anfechtbaren — Quotienten aus Niederschlag und Temperatur als Relativmaß für die Verdunstung benutzt („Regenfaktor" nach LANG, „Trockenheitsindex" nach DE MARTONNE). Man geht dabei von der Tatsache aus, daß die Verdunstungskraft der Atmosphäre mit steigender Temperatur anwächst und infolgedessen mehr von dem Niederschlag aufzehrt. Hier ist versuchsweise ein Quotient aus der sommerlichen Niederschlagshöhe und der Anzahl der Sommertage gebildet worden, weil die Verdunstung gerade an den heißen Tagen besonders wirksam ist, während sie an kühlen bedeckten Tagen und in der Nacht auch im Sommer verhältnismäßig gering bleibt.

Dieser Quotient zeigt jedenfalls einen ziemlich regelmäßigen Abstieg, was darauf deutet, daß trotz Zunahme der Niederschlagssummen und trotz wachsender Niederschlagsintensität die Sommer doch trockener geworden sind. Das Gewicht der Sommertage mit ihrer meist enorm hohen Verdunstungskraft ist zumindest gegenüber den Niederschlagsbeträgen gestiegen.

Man kann dieses Ergebnis mit Hilfe eines Verfahrens nachprüfen, das von W. HAUDE zur Berechnung der sog. „potentiellen Evapotranspiration" entwickelt wurde. Dabei ergibt sich beispielsweise für Karlsruhe, daß die potentielle Verdunstung in den Monaten Juli und August von 218 mm im Mittel der Jahre 1890/1919 auf 247 mm im Mittel von 1920/1950 (ohne 1945) angewachsen ist; sie war dadurch im ersteren Zeitraum um 63 mm, im letzteren aber um 93 mm größer als der Niederschlag selbst. In Bremen waren die Verdunstungsbeträge der beiden Zeiträume 156 mm und 179 mm. Während hier die Verdunstung dem Niederschlag 1890/1919 gerade die Waage hielt, blieb der Niederschlag 1920/1950 um 31 mm hinter der Verdunstung zurück. Auch hier stiegen also die potentiellen Verdunstungsverluste um etwa 30 Liter pro Quadratmeter Bodenfläche an. Die Diskrepanz zwischen Verdunstung und Niederschlag ist also tatsächlich immer größer geworden. Es gibt daher keinen Zweifel:

Die Sommer in Deutschland sind trockener geworden.

6. Um sich dieses Ergebnis meteorologisch erklären und in einen größeren Zusammenhang stellen zu können, wurde in einem Stationsdreieck Borkum, Memel und München nach den Luftdruckmessungen die Richtung der allgemeinen Luftversetzung über Deutschland bestimmt. Es stellte sich heraus, daß die *Häufigkeit* von Wetterlagen mit *Strömungen* aus dem *Südhalbraum* ganz allgemein *größer* geworden ist. Luftkörper aus südlicheren Breiten besitzen wegen ihrer Wärme aber eine größere Kapazität für die Aufnahme von Wasserdampf; es stimmt damit überein, daß die Sommer größere Niederschlagssummen bekommen haben und die einzelnen Regenfälle stärker geworden sind. Aber dieser Effekt wird offenbar durch die größere Wärme der Luft weitaus überkompensiert, so daß insgesamt doch eine zunehmende Trockenheit der Sommer resultiert. Daß die Umstellung der Strömungsrichtungen mit wachsendem antizyklonalem Einfluß verbunden ist, trägt dazu bei.

Die Bestimmung der Strömungsrichtungen aus Luftdruckgradienten mit dem Ergebnis eines zunehmenden Anteils von Strömungen aus dem Südhalbraum (nordwestliche Strömungen sind in demselben Maße seltener geworden) ist zugleich ein Beleg dafür, daß die hier bisher behandelten Meßergebnisse als zuverlässig angesehen werden können. Es wird nämlich manchmal der Einwand geltend gemacht, daß die Temperaturablesungen meist in Städten stattfinden, die in den letzten Jahrzehnten sehr gewachsen sind und dadurch eine Änderung des Lokalklimas („Stadtklimas") in Richtung zu einem Wärmerwerden erfahren haben. Auch die Neigung zu exzessiven Regenfällen wird zuweilen damit in Zusammenhang gebracht. Vielleicht ist dieser Einfluß auch bei einzelnen der hier verwendeten Stationen nicht auszuschließen, man kann aber wohl sagen, daß er in seinem Ausmaß weit hinter den hier festgestellten Änderungen zurückbleibt. Auf jeden Fall zeigt die Ermittlung der allgemeinen Luftversetzung aus den Luftdruckmessungen, die von Stadtklima-Effekten weitgehend unabhängig sind, daß großräumige Umstellungen der atmosphärischen Zirkulation über Deutschland mit Sicherheit stattgefunden haben, in die sich die übrigen Ergebnisse zwanglos einordnen lassen.

7. Zu den in diesem Sinne unabhängigen Elementen gehören auch die *Sonnenflecken-Relativzahlen*, die ebenfalls in übergreifenden dreißigjährigen Mittelwerten für

die Sommermonate Mai bis September dargestellt wurden — hier ist ja der Zusammenhang mit den meteorologischen Elementen selbst noch nicht ganz geklärt. Die Darstellung zeigt aber, daß sie sich zumindest in der Tendenz der zunehmenden Anzahl der Sommertage, der Steigerung der Niederschlagsdichte usw. anpaßt, ohne daß daran hier weitere Erörterungen angeknüpft zu werden brauchen.

Zusammenfassung

Die Ausgangsfrage, ob es in Deutschland trockener geworden ist, muß aus dem meteorologischen Beobachtungsmaterial bejaht werden. Die Sommer sind trockener geworden, nicht weil es weniger Niederschläge gegeben hätte, sondern weil es wärmer und die Verdunstungskraft größer geworden ist. Auch die Winterniederschläge sind nicht geringer geworden, wie aus anderen Untersuchungen des Verfassers hervorgeht.

Es versteht sich von selbst, daß aus den Feststellungen nicht der Schluß gezogen werden kann, daß sich die Tendenz einer zunehmenden Sommertrockenheit weiterhin fortsetzt oder noch verstärkt. Doch ist es schon zweckmäßig, die bisherigen Ergebnisse zu kennen, ohne daß man dabei in den Fehler verfallen darf, die Entwicklung zu überschätzen. Das hier mitgeteilte Material möge dabei behilflich sein. In den Darstellungen sind die auf den Ordinaten eingetragenen Werte daher besonders zu beachten.

Quellenangabe

Die der Untersuchung zugrunde liegenden meteorologischen Meßwerte wurden den Deutschen Meteorologischen Jahrbüchern, für die letzten beiden Jahre den Monatlichen Witterungsberichten des Deutschen Wetterdienstes entnommen. Nicht veröffentlichte Werte wurden aus dem Archiv des Deutschen Wetterdienstes ergänzt.

Die Zusammenstellung der Unterlagen wurde dankenswerterweise durch das Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes unterstützt.

Frankfurt/Main, Fahrgasse 21

Eingegangen am 18. März 1960

Kurze Berichte

Kernresonanzabsorption mit eingefrorenem Rückstoß (Mößbaueffekt)

Von I. Y. Krause und G. Lüders, Göttingen

1. *Kernresonanzabsorption*

Ein Atom oder ein Kern befinde sich im quantenmechanischen Grundzustand. Trifft auf dieses Gebilde ein Lichtquant einer Energie $h\nu_0$, die gleich der Energiedifferenz zwischen einem angeregten Zustand und dem Grundzustand ist, so kann es absorbiert werden; man nennt diesen Vorgang Resonanzabsorption[1]). Das Atom oder der Kern geht dabei in den entsprechenden angeregten Zustand über. Das quantenmechanische System kehrt anschließend spontan wieder in den Grundzustand zurück. Dabei kann ein Lichtquant der passenden Energie wieder emittiert werden in eine im allgemeinen von der Flugrichtung des ursprünglichen Quants verschiedene Richtung; die Anregungsenergie kann aber auch auf andere Weise abgegeben werden [vgl. Fußnote [1])].

Dieses einfache Bild der Resonanzabsorption bedarf noch einer Korrektur. Die angeregten Zustände besitzen nur eine endliche mittlere Lebensdauer und, als Folge der Unbestimmtheitsrelation zwischen Zeit und Energie, auch keine ganz scharfe Energie. Die Absorptionslinien des Atoms oder Kerns sind also nicht unendlich dünn[2]); die Energie des ursprünglichen Quants braucht daher nicht ganz genau zu „passen", sie muß nur in die nicht verschwindende Breite einer Absorptionslinie fallen.

Es sieht zunächst so aus, als entstehe ein Lichtquant der passenden Energie gerade bei dem Übergang eines mit dem absorbierenden identischen Atoms oder Kerns aus dem angeregten Zustand in den Grundzustand. Der Rückstoß des Lichtquants verhindert diese einfache Möglichkeit. Ein Lichtquant der Energie $h\nu_0$ ist Träger eines Impulses $p = h\nu_0/c$; zur Erfüllung des Impulssatzes muß das emittierende Gebilde bei der Emission einen Impuls desselben Betrages, aber entgegengesetzter Richtung übernehmen. Mit diesem Rückstoßimpuls ist eine Rückstoßenergie

$$R = \frac{p^2}{2M} = \frac{(h\nu_0)^2}{2Mc^2} \tag{1}$$

verbunden, wobei M die Masse des emittierenden Atoms oder Kerns ist. Sie fehlt dem Lichtquant, seine Energie beträgt daher nur[3])

$$h\nu_{em} = h\nu_0 - R; \tag{2}$$

hierbei ist $h\nu_0$ die Energiedifferenz zwischen angeregtem Zustand und Grundzustand (Anregungsenergie) des Systems[4]). Damit Resonanzabsorption auftritt, müßte die Energie des ursprünglichen Lichtquants nicht nur gleich $h\nu_0$ sein, sondern wegen der Impulsübertragung bei der Absorption sogar gleich

$$h\nu_{abs} = h\nu_0 + R \tag{3}$$

mit demselben R. Die Emissionslinie und die Absorptionslinie sind also gegeneinander um den Betrag $2R$ verschoben; nur wenn die beiden Linien infolge ihrer nichtverschwindenden Breite einander noch überlappen, tritt Resonanzabsorption auf (Fig. 1a), sonst nicht (Fig. 1b). Solche Überlappungen hat man meist in der Atomphysik; der Rückstoß spielt keine entscheidende Rolle. In der Kernphysik verhindert der viel stärkere Rückstoß die Überlappung und damit die Resonanzabsorption.

Um die Bedingungen für Resonanz wieder herzustellen, muß dem ausgesandten Gammaquant der fehlende Energiebetrag $2R$ zugeführt werden. Dies kann man durch Doppler-Effekt erreichen [*13a*]. Werden Strahlenquelle und Absorber mit der Geschwindigkeit v aufein-

[1]) Vielfach interessiert man sich besonders für das anschließend emittierte Lichtquant und spricht dann von Resonanzfluoreszenz. In vielen kernphysikalischen Anwendungen wird die Anregungsenergie aber bevorzugt als kinetische Energie an ein Hüllenelektron abgegeben (Konversionselektron), so daß die echte Absorption vorherrscht.

[2]) Die Halbwertsbreite einer Linie ist umgekehrt proportional zur mittleren Lebensdauer des angeregten Niveaus; für eine mittlere Lebensdauer von etwa 10^{-8} sec, wie sie in der Atomphysik vorkommt, beträgt sie etwa 10^{-7} eV. In der Kernphysik streuen die vorkommenden mittleren Lebensdauern in einem sehr weiten Bereich und entsprechend die Halbwertsbreiten der Niveaus.

[3]) Dies ist eine Näherungsbetrachtung, die gilt, solange $h\nu_0 \ll Mc^2$ ist. Zahlenwert für R als Beispiel: mit $h\nu_0 = 500$ keV und $A = 100$ (Massenzahl des Kerns) ist $R = 1{,}3$ eV.

[4]) Man kann die mit dem Energieverlust verbundene Frequenzverminderung des emittierten Lichtquants übrigens auch als Doppler-Effekt deuten: das Quant wird emittiert von einer Lichtquelle, die sich während des Emissionsprozesses in Bewegung setzt. Rechnerisch ergibt sich die für diesen Doppler-Effekt kennzeichnende Geschwindigkeit als die halbe Endgeschwindigkeit des emittierenden Systems.

anderzu bewegt, so erhöht sich die für den Absorptionsprozeß verfügbare Quantenenergie um

$$h\,\Delta\nu = \frac{v}{c}\,h\nu_0; \tag{4}$$

ist $h\,\Delta\nu = 2R$, so tritt Resonanz auf [vgl. Gln. (2) und (3)]. Als erstem gelang es 1951 MOON [*16*], die Kernresonanzabsorption mit Hilfe der Doppler-Verschiebung nachzuweisen. Die zur Kompensation der Rückstoßverluste nötigen Doppler-Geschwindigkeiten von einigen 10^4 cm/sec können mit Ultrazentrifugen gerade noch erreicht werden. Man befestigt zu diesem Zweck das gammastrahlende Präparat auf dem Rotor der Zentrifuge (Fig. 2) und beobachtet z. B. die Strahlung, die den Absorber durchdringt, während sich die Quelle auf dem dick ausgezogenen Teil des Kreises bewegt. Wenn die Geschwindigkeit v der Strahlenquelle so gewählt ist, daß die Resonanzbedingung erfüllt wird, tritt im Absorber zusätzlich zur Absorption der Quanten durch Photoeffekt und Streuung durch Compton-Effekt Kernresonanzabsorption auf. Der Zähler Z zeigt bei dieser Geschwindigkeit daher eine etwas geringere Zählrate an.

Auch bei Kernreaktionen werden häufig rasch bewegte Kerne erzeugt, die ihre Gammaquanten noch im Fluge abstrahlen und deren Strahlung daher zum Nachweis der Kernresonanzabsorption geeignet ist (ILAKOVAC [*6*], METZGER [*13b*], SWANN und METZGER [*23*]).

Oft angewandt wird eine weitere von MALMFORS [*12*] entdeckte Methode, bei der die nötigen Geschwindigkeiten durch Erhitzen einer gasförmigen Strahlenquelle, d. h. durch thermische Bewegung erzeugt werden. Der mit steigender Temperatur wachsenden Breite der Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung entspricht eine wachsende Doppler-Verbreiterung[1]) der emittierten Gammalinie. Bei genügend hoher Temperatur überlappen sich Emissions- und Absorptionslinien so weit, daß man die Kernresonanzabsorption nachweisen kann.

2. MÖSSBAUERs *Experimente*

Eine Möglichkeit, die Erfüllung der Resonanzbedingung nicht durch Kompensation des Rückstoßenergieverlustes zu erreichen, sondern diesen Energieverlust zu vermeiden, wurde von MÖSSBAUER [*14a, b*] entdeckt. MÖSSBAUER untersuchte die Kernresonanzabsorption am Ir^{191}. Als Strahlenquelle diente ein Präparat von radioaktivem Os^{191}, das durch einen β-Zerfall mit einer Halbwertszeit von 16 Tagen in einen angeregten Zustand des Ir^{191} übergeht (Fig. 3). Beim Abklingen dieses Zustands tritt eine 129 keV-Gammastrahlung auf, die in einem Ir-Absorber (natürliches Ir enthält 38,5% Ir^{191}) durch Kernresonanz absorbiert werden kann. Die Versuchsanordnung glich im Prinzip der in Fig. 2 skizzierten.

Mit dieser Anordnung wurden zwei Versuche durchgeführt. Im ersten Versuch [*7*] wurde die Os^{191}-Quelle nicht bewegt, da hier die Rückstoßenergie $R = 0{,}47$ eV nicht groß ist und wegen der Doppler-Verbreiterung der Linien durch thermische Bewegung auch bei Zimmertemperatur eine zwar sehr kleine, aber nachweisbare Kernresonanzabsorption auftritt. Die Temperaturen der Quelle und des Absorbers konnten von -190 bis 20° C variiert werden. Statt des Ir-Absorbers konnte auch ein Platinfilter in den Strahlengang gebracht werden, das die gleiche Photoabsorption und Compton-Streuung, jedoch keine Kernresonanzabsorption zeigt. Durch eine Vergleichsmessung mit diesem Filter wurden die hier nicht interessierenden Effekte von dem gesuchten getrennt.

Bei gasförmigen Substanzen würde man erwarten, daß mit abnehmender Temperatur die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung und damit die Doppler-Breiten der Gamma-Emissions- und Absorptionslinien schmaler werden, die Linien sich daher weniger überlappen und die Kernresonanzabsorption abnimmt. Strahlenquelle und Absorber bestanden hier aus festem metallischem Os und Ir, bei denen die Atome an Gitterplätze gebunden sind. Es ist naheliegend, anzunehmen, daß die thermischen Gitterschwingungen die Kernresonanzabsorption ähnlich beeinflussen wie die Bewegung der Atome in einem Gas und daß der Effekt daher mit fallender Temperatur abnimmt. Im Gegensatz zu gasförmigen Substanzen fand MÖSSBAUER jedoch einen starken Anstieg der Kernresonanzabsorption bei tiefen Temperaturen.

Der zweite Versuch [*14b*] wurde mit bewegter Quelle durchgeführt. Bewegt man das Os^{191}-Präparat und den Ir-Absorber aufeinander zu, so sollte man erwarten, daß bei einer Geschwindigkeit von $v = 1{,}1 \cdot 10^5$ cm sec^{-1} der

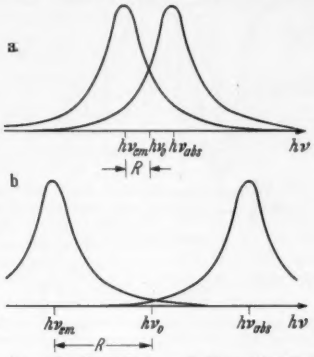


Fig. 1 a u. b. Lage der Emissions- und Absorptionslinie bei Berücksichtigung des Rückstoßes. *a* Überlappung der Linien, *b* praktisch keine Überlappung der Linien

Gammarückstoß durch Doppler-Effekt gerade kompensiert wird. Die Kernresonanzabsorption sollte an dieser Stelle also ein Maximum durchlaufen und bei höheren Geschwindigkeiten wieder abfallen. Ginge dagegen bei

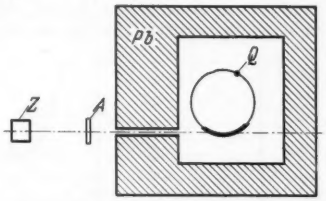


Fig. 2. Versuchsanordnung zum Nachweis der Kernresonanzabsorption (schematisch): *Q* Strahlenquelle, *A* Absorber, *Z* Zähler zum Nachweis der Gammaquanten, die den Absorber durchdringen. Die Quelle kann auf dem gezeichneten Kreis mit variabler Geschwindigkeit bewegt werden und sendet Strahlung in den Zähler, während sie sich auf dem stark ausgezogenen Bogen befindet

der Emission und Absorption der Quanten keine Rückstoßenergie verloren, so wäre die Resonanzbedingung für die Doppler-Geschwindigkeit $v = 0$ erfüllt. Eine von Null verschiedene Geschwindigkeit, sei sie positiv oder negativ,

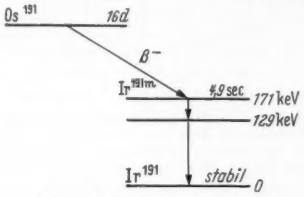


Fig. 3. Zerfallsschema des Os^{191}

würde die Kernrescnanzabsorption verringern bzw. zum Verschwinden bringen.

Die Messungen von MÖSSBAUER mit bewegter Quelle, bei denen sich das Os^{191}-Präparat und der Ir-Absorber auf der Temperatur des flüssigen Stickstoffs befanden, zeigen tatsächlich ein Maximum der Kernresonanzabsorption bei $v = 0$ und einen steilen Abfall bei Doppler-Verschiebungen, die sehr klein sind gegenüber der Rückstoßenergie R (Fig. 4). Bei einer Geschwindigkeit von $v = 1{,}2$ cm sec^{-1}, die einer Doppler-Verschiebung von $4{,}6 \cdot 10^{-5}$ eV entspricht, ist der Effekt bereits auf die Hälfte abgefallen. Der Versuch zeigt, daß unter den gegebenen Bedingungen

[1]) Die Doppler-Verbreiterung entsteht durch Überlagerung von Doppler-Verschiebungen infolge der regellosen Verteilung der Flugrichtungen der Moleküle.

der Gamma-Rückstoß eingefroren ist. Das Os^{191} sendet eine 129 keV-Gammalinie ohne Rückstoßenergieverlust aus, die vom Ir wieder ohne Rückstoßverluste absorbiert werden kann. Die Emissions- und Absorptionslinien sind

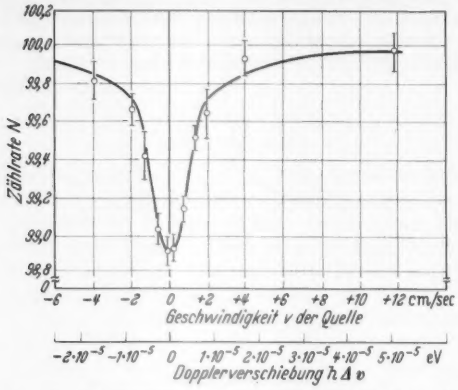


Fig. 4. Am Ir^{191} gemessene Kernresonanzabsorption bei −196° C (nach Mössbauer [14b]). $N = 100$ entspricht der Zählrate bei hohen Geschwindigkeiten, bei denen die Kernresonanzabsorption verschwunden ist

dabei sehr schmal, denn bei einer Doppler-Verschiebung von $4{,}6 \cdot 10^{-5}$ eV überlappen sie sich nur noch zur Hälfte.

3. *Der eingefrorene Rückstoß*

Die von Mössbauer beobachteten rückstoßfreien Emissions- und Absorptionslinien kommen offenbar dadurch zustande, daß in diesen Fällen der Kristall als

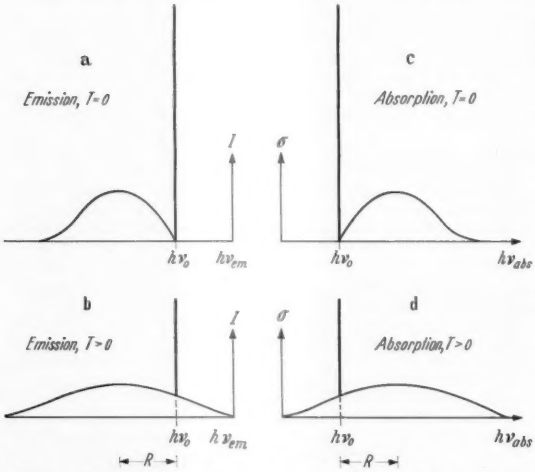


Fig. 5. Emissions- und Absorptionsspektren von Kernen, die in einen Kristall eingebaut sind, bei $T = 0$ und $T > 0$. I Intensität der emittierten Strahlung, σ Wirkungsquerschnitt für Absorption. Die Gestalt des kontinuierlichen Spektrums ist insbesondere für $T = 0$ stark vereinfacht; vgl. [25]

ganzer Rückstoß aufnimmt; in Gl. (1) ist als Masse M jetzt die des Kristalls einzusetzen, und R wird sehr klein. Allerdings darf man sich nicht vorstellen, daß die Kerne in den Kristall starr eingebaut seien und daß hierauf die Übernahme des Rückstoßes durch den Kristall beruhe; vielmehr sind die einzelnen Atome elastisch an ihre Nachbarn gebunden, wie man an der makroskopischen Dehnbarkeit (Elastizität) des Kristalls und an dem Beitrag von Gitterschwingungen zu seinem Wärmeinhalt erkennt. Man würde daher im Gegensatz zu der Mössbauerschen Beobachtung erwarten, daß der emittierende Kern zunächst einen Rückstoß von etwa gleicher Größe wie ein freier Kern in einem Gas erfährt, daß dieser Rückstoß dann aber von den elastischen Bindungen zu den Nachbarn aufgefangen wird und schließlich in Form von Schwingungen des Gitters in Erscheinung tritt. Erst die Bemerkung, daß die Gitterschwingungen nur in bestimmten Grenzfällen[1]) nach den Gesichtspunkten der klassischen Physik, sonst aber nach denen der Quantenphysik zu beschreiben sind, macht die Mössbauersche Feststellung des eingefrorenen Rückstoßes verständlich.

Die einzelne Schwingung des Gitters, die durch ihre Frequenz ν_g und einige weitere Bestimmungsstücke gekennzeichnet werden kann, ist quantisiert zu denken; sie kann nicht mit beliebiger Schwingungsenergie auftreten. Unter Umständen ist sie überhaupt nicht angeregt, oder sie ist einfach, zweifach oder mehrfach angeregt. Im ersten Fall ist mit ihr nur die Nullpunktenergie $\frac{1}{2} h\nu_g$ verbunden; im zweiten Fall tritt zusätzlich eine Schwingungsenergie von $h\nu_g$ bzw. einem ganzzahligen Vielfachen hiervon auf. Der Schwingungszustand eines Kristallgitters kann dadurch gekennzeichnet werden, daß man angibt, wie hoch die einzelnen Gitterschwingungen angeregt sind.

Erfolgt nun ein Eingriff, etwa dadurch, daß ein Kern des Gitters ein Lichtquant emittiert oder absorbiert, so ändert sich im allgemeinen der Schwingungszustand des Gitters, d.h. der Anregungszustand der einzelnen Gitterschwingungen. Nach den Grundsätzen der Quantenphysik kann eine derartige Zustandsänderung aber im Einzelfall nicht genau vorhergesagt werden; es sind nur statistische Vorhersagen möglich. Es kann insbesondere auch vorkommen, daß sich der Schwingungszustand des Kristalls überhaupt nicht ändert, ebenso können aber Änderungen des Zustands erfolgen. Mit der Änderung des Schwingungszustandes ist eine Energieänderung des Kristalls verbunden; die Anregungsenergie $h\nu_0$ des Kerns teilt sich dann auf diese Energieänderung des Kristalls und die Energie $h\nu_{em}$ des emittierten Lichtquants auf. In den Fällen aber, in denen sich der Zustand des Gitters nicht ändert, ist die Energie des Lichtquants gleich der Energieänderung des Kerns; die dann vom Kristall als ganzem übernommene Rückstoßenergie darf dabei vernachlässigt werden. Dies ist die von Mössbauer beobachtete Emission und Absorption mit eingefrorenem Rückstoß.

Entscheidend für die Beobachtbarkeit der rückstoßfreien Linie ist die Häufigkeit, mit der dieser Fall auftritt, verglichen mit allen anderen Fällen, die mit einer Energieänderung des Lichtquants verbunden sind. Die Berechnung dieser Häufigkeit ist ein Problem der Quantenmechanik, das mit geläufigen Methoden gelöst werden kann; in einem etwas anderen Zusammenhang wurde die Theorie 1939 von W. E. Lamb jr. entwickelt [9] [2]). Idealisiert man das Kristallgitter als Debye-Gitter, macht man also spezielle, besonders einfache Annahmen über das Spektrum der Gitterschwingungen, so folgt für die relative Häufigkeit w einer Emission mit eingefrorenem Rückstoß bei der Temperatur des absoluten Nullpunktes, wenn also überhaupt keine Gitterschwingung angeregt ist, die Vorhersage

$$w = e^{-\frac{3}{2}\frac{R}{k\Theta}}. \tag{5}$$

Hierbei ist R die Rückstoßenergie des nicht gebundenen Kerns nach Gl. (1), k die Boltzmannsche Konstante und Θ die Debye-Temperatur des Gitters. Die Abhängigkeit der relativen Häufigkeit von der Rückstoßenergie R leuchtet sofort ein; Emission mit eingefrorenem Rückstoß ist um so häufiger, je kleiner R ist. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Häufigkeit rückstoßfreier Emission bzw. Absorption gegenüber dem in Gl. (5) angegebenen Wert ab und verschwindet schließlich völlig. Auch das ist verständlich. Für das Auftreten des eingefrorenen Rückstoßes ist entscheidend, daß der Schwingungszustand des Gitters quantenmechanisch und nicht klassisch zu beschreiben ist. Bei höherer Temperatur sind die einzelnen Gitterschwingungen aber so hoch angeregt, daß der Schwingungszustand des Gitters klassisch beschrieben werden kann.

[1]) Nämlich bei genügend hoher Temperatur, so daß die Gitterschwingungen hinreichend hoch angeregt sind.

[2]) Vgl. auch eine Arbeit von Steinwedel und Jensen [22]. Speziell in Zusammenhang mit der Kernresonanzabsorption sind kürzlich mehrere theoretische Arbeiten erschienen [10], [25]; besonders klar scheint uns hierbei die Arbeit von Lipkin [10].

Enthält ein Kristallgitter Atomkerne, die irgendwann spontan aus einem angeregten Zustand in den Grundzustand übergehen, wobei die Energie $h\nu_0$ frei wird, so wird man für die außerhalb des Kristalls beobachteten Lichtquanten ein Spektrum gemäß Fig. 5a, b erwarten: Man hat einerseits die scharfe Linie bei $h\nu_{em} = h\nu_0$, die dem eingefrorenen Rückstoß entspricht; man wird erwarten, daß die Breite dieser Linie in einem fehlerfreien Kristall gleich der Linienbreite bei Emission durch das nicht in einem Kristall gebundene Atom ist. Die Stärke der rückstoßfreien Linie nimmt mit zunehmender Temperatur ab (außerdem tritt eine geringfügige Verschiebung auf; vgl. Abschnitt 4). Daneben hat man ein kontinuierliches Spektrum, das von der Aufteilung der Primärenergie $h\nu_0$ auf das Lichtquant und die Änderung der Schwingungsenergie des Gitters stammt. Bei $T = 0$ sind die Gitterschwingungen überhaupt nicht angeregt; die Schwingungsenergie des Gitters kann beim Emissionsprozeß nur erhöht und nicht erniedrigt werden ($h\nu_{em} \leq h\nu_0$); bei $T > 0$ kann das Lichtquant auch Energie aus der Schwingungsenergie des Gitters übernehmen ($h\nu_{em} > h\nu_0$). Der Wirkungsquerschnitt für Resonanzabsorption wird aus Fig. 5a, b durch Spiegelung an $h\nu = h\nu_0$ gewonnen (Fig. 5c, d).

Es sollte vielleicht betont werden, daß die Spektren der Fig. 5 theoretisch gewonnen und bisher nicht gemessen worden sind. Sie sind verträglich mit der Beobachtung von MÖSSBAUER: Infolge der scharfen Linien tritt starke Resonanzabsorption auf, wenn Quelle und Absorber ruhen und sich auf genügend niedriger Temperatur befinden. Bei Temperaturerhöhung verschwindet dieser starke Effekt infolge Verschwinden der rückstoßfreien Linien. Er verschwindet auch bei niedriger Temperatur, wenn Quelle und Absorber so schnell gegeneinander bewegt werden, daß sich die beiden Linien infolge Doppler-Verschiebung nicht mehr überlappen. Dem Absorptionsspektrum der Fig. 5c, d überlagert sich Absorption durch Photoeffekt und Compton-Streuung.

Die Kerne des Kristallgitters befinden sich nicht in Ruhe, sondern zeigen eine Temperaturbewegung; das ist nur ein anderer Ausdruck für das Auftreten von Gitterschwingungen. Man könnte daher erwarten, daß die rückstoßfreie Linie eine entsprechende Doppler-Verbreiterung[1]) zeigen sollte. Diese Erwartung ist aber falsch, wie durch das Experiment gezeigt wird; die Linie zeigt keine Doppler-Verbreiterung. Das liegt daran, daß die Wellenvorstellung der Lichtemission hier nicht anwendbar ist. Man hat einen Übergang zwischen zwei wohldefinierten Quantenzuständen; die Energie des ausgesandten Lichtquants ist gleich der Energiedifferenz der beiden Zustände (also gleich $h\nu_0$, da sich die Energie des Gitters nicht ändert)[2]). Es ergibt sich lediglich eine Verbreiterung der Linie durch die endliche Lebensdauer des Anfangszustandes. Die Erwartung einer Doppler-Verbreiterung ist dagegen gerechtfertigt, wenn der Schwingungszustand des Gitters klassisch beschrieben werden darf, also bei genügend hohen Temperaturen. Man hat dann keine rückstoßfreie Linie, sondern nur ein verbreitertes Spektrum, das allerdings noch als Folge eines typischen Quanteneffektes (Rückstoß des Lichtquants) um den Betrag R verschoben ist[3]). In gewisser Weise ist diese Doppler-Verbreiterung schon bei sehr niedrigen Temperaturen in dem kontinuierlichen Anteil des emittierten Spektrums (Fig. 5a) vorgebildet.

4. *Weitere Experimente*

Inzwischen wurde Kernresonanzabsorption mit eingefrorenem Rückstoß außer beim Ir^{191} [*2, 14a, 14b*] auch bei anderen Kernen beobachtet; Messungen am Ta^{182} [*11*], Fe^{57} [*1, 4, 5, 8, 18—21, 26*], Au^{197} [*17*], Sn^{119} [*24*], Re^{187} [*15*] und Zn^{67} [*3*] sind vor der Drucklegung dieses Berichts veröffentlicht worden.

Besonderes Interesse fand der Effekt beim Fe^{57}, da die von diesem Kern ausgesandte 14 keV-Gammalinie bei einer Halbwertszeit von $1{,}0 \cdot 10^{-7}$ sec besonders schmal ist. Ihre relative Linienbreite $\Delta\nu/\nu = 10^{-12}$ ist etwa 10^4mal kleiner als bei Übergängen in der Atomhülle.

[1]) Vgl. Fußnote 1 auf S. 533.

[2]) Die Spektrallinie, die ein rotierendes Molekül bei einem Elektronenübergang aussendet, zeigt ebenfalls keinen Doppler-Effekt.

[3]) Von diesem Doppler-Effekt im Kristall war bereits in Abschnitt 2 bei der Diskussion des ersten Mössbauerschen Versuchs die Rede.

Die Messung der Linienbreite wurde zuerst von POUND und REBKA [*20b*] mit der Kernresonanzabsorption durchgeführt. Die Versuchsanordnung entsprach der von MÖSSBAUER angegebenen (Fig. 2). Der Effekt wurde jedoch hier im Gegensatz zum Ir bereits bei Zimmertemperatur beobachtet. Strahlenquelle war ein Präparat einer unwägbaren Menge von radioaktivem Co^{57} (frei von natürlichem Co), das auf einem sehr reinen Fe-Blech niedergeschlagen und durch Diffusion bei hoher Temperatur in das Fe-Kristallgitter eingebaut worden war. Co^{57} geht durch Einfang eines Elektrons aus seiner Elektronenhülle in angeregtes Fe^{57} über (Fig. 6). Absorber für die ausgesandte 14 keV-Strahlung war eine Fe-Folie, die Fe^{57} zu 2,2 % enthält. Wenn man nun durch Verändern der Geschwindigkeit der Quelle die Emissionslinie gegenüber der Absorptionslinie verschiebt, kann man eine Resonanzkurve messen, deren Breite bei dünnen Absorberfolien gleich der Summe der Breiten der Emissions- und Absorptionslinien ist. Fig. 7 zeigt das Ergebnis der Messung. Die Kernresonanzabsorption ist hier viel größer als beim Ir, bei $v = 0{,}017$ cm/sec ist sie aber bereits auf die Hälfte abgesunken. Dies entspricht einer Energieverschiebung von $0{,}8 \cdot 10^{-8}$ eV und damit einer Halbwertsbreite der Emissions- und Absorptionslinien von ebenfalls $0{,}8 \cdot 10^{-8}$ eV. Der gemessene Wert stimmt in der Größenordnung gut mit der für eine Halbwertszeit von $1 \cdot 10^{-7}$ sec errechneten natürlichen Linienbreite überein, er ist jedoch stark abhängig von der Vorbehandlung der Quellen- und Absorberfolien und kann bei ungünstigen Bedingungen viel größer sein.

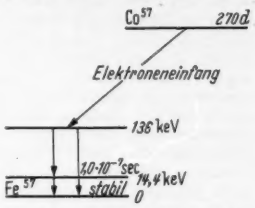


Fig. 6. Zerfallsschema des Co^{57}

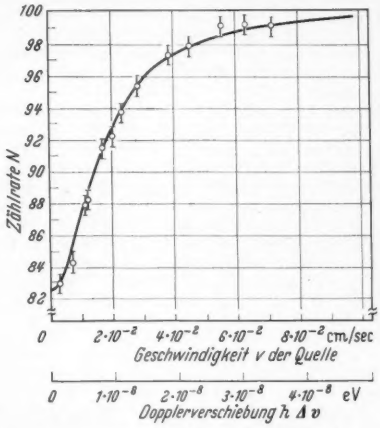


Fig. 7. Am Fe^{57} gemessene Kernresonanzabsorption bei 20° C (nach POUND und REBKA [*20b*]). $N = 100$ entspricht der Zählrate bei hohen Geschwindigkeiten, bei denen die Kernresonanzabsorption verschwunden ist. Die Kurve ist symmetrisch zu $v = 0$

Wegen der geringen Linienbreite treten beim Fe^{57} weitere interessante Erscheinungen auf. Außer der Hauptresonanzlinie bei $v = 0$ konnten kleinere Nebenmaxima der Kernresonanzabsorption bei höheren Doppler-Geschwindigkeiten (0,2 bis 1,2 cm/sec) beobachtet werden [*4a, 4b, 18, 19, 20b, 21, 26*]. Sie sind durch eine Aufspaltung der Gammalinie durch Zeeman-Effekt im Magnetfeld zu erklären, das die Elektronenhülle im ferromagnetischen Eisen am Ort des Kerns erzeugt. Der Effekt tritt nicht auf, wenn die Versuche an Substanzen durchgeführt werden, bei denen kein Magnetfeld am Kernort existiert, z. B. an diamagnetischem $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3\,H_2O$.

Sehr genaue Messungen wurden über die Abhängigkeit der Energie der ausgesandten Strahlung und der Lage des Absorptionsmaximums von der Temperatur und anderen Versuchsparametern durchgeführt. Durch einen Kunst-

griff lassen sich schon sehr kleine Veränderungen der relativen Lage der beiden Linien experimentell nachweisen. Zum Beispiel konnte gezeigt werden, daß sich die Frequenz der Emissions- und der Absorptionslinie beim Fe^{57} um ihren $2{,}4 \cdot 10^{-18}$ten Teil verringert [20c], wenn man die Temperatur der Proben um 1° C erhöht.

Diese temperaturabhängige Linienverschiebung ist ein relativistischer Effekt, der sich durch Verfeinerung der Betrachtungen des Abschnitts 3 ergibt [7, 20c]. Geht der Kern aus dem angeregten Zustand in den Grundzustand über, so ändert sich seine Energie und damit (nach der relativistischen Energie-Masse-Äquivalenz) auch seine Masse. Dadurch ändern sich aber ebenfalls die Frequenzen der einzelnen Gitterschwingungen; auch wenn bei rückstoßfreier Emission der Schwingungszustand des Gitters gleich bleibt, ändert sich doch infolge der Frequenzänderung dann die Schwingungsenergie des Gitters. Diese Änderung der Schwingungsenergie bei rückstoßfreier Emission (und ebenso bei Absorption) ergibt sich theoretisch proportional zur Schwingungsenergie selbst und ist damit temperaturabhängig. Sie tritt als Energieverschiebung der rückstoßfreien Linie in Erscheinung, da sich die Anregungsenergie $h\nu_0$ des Kerns auf die Energie des Lichtquants und die eben besprochene Energieänderung des Kristalls aufteilt. Die Verschiebung ist dieselbe für die Emissionslinie und Absorptionslinie; bestehen also Quelle und Absorber aus dem gleichen Kristall, und befinden sie sich auf gleicher Temperatur, so tritt keine gegenseitige Verschiebung der rückstoßfreien Linien auf. Verändert man die Temperatur der Quelle bei konstanter Absorbertemperatur, so treten Frequenzverschiebungen der ausgesandten Gammalinie auf, deren gemessene Werte gut mit den berechneten übereinstimmen.

Außer der Temperatur beeinflußt die chemische Umgebung der Fe^{57}-Kerne die Energie der ausgesandten Gammaquanten [4a]. Bereits kleine Verunreinigungen der Proben oder auch Verspannungen des Gitters bewirken meßbare Energieverschiebungen, deren Ursache wohl auf der Ungleichheit der Gitterenergien und der Elektronendichten am Kernort beruht. Es sind jedoch weitere Versuche nötig, um Klarheit in diese Probleme zu bringen.

Die Anwendung der Kernresonanzabsorption mit eingefrorenem Rückstoß auf die Prüfung der Relativitätstheorie wird in einem gesonderten Bericht dargestellt werden.

Die Anfertigung dieses Berichts wurde sehr gefördert durch Diskussionen mit Kollegen in den Göttinger physikalischen Instituten.

Literatur

[1] Corday-Hayes, M., N. A. Dyson u. P. B. Moon: Proc. Physic. Soc. A **75**, 810 (1960). — [2] Craig, P. P., J. G. Dash, A. D. McGuire, D. Nagle u. R. R. Reiswig: Phys. Rev. Letters **3**, 221 (1959). — [3] Craig, P. P., D. E. Nagle u. D. R. F. Cochran: Phys. Rev. Letters **4**, 561 (1960). — [4] Hanna, S. S., J. Heberle, C. Littlejohn, G. J. Perlow, R. S. Preston u. D. H. Vincent: Phys. Rev. Letters a) **4**, 28 (1960); b) **4**, 177 (1960). — [5] Holland, R. E., F. J. Lynch, G. J. Perlow u. S. S. Hanna: Phys. Rev. Letters **4**, 181 (1960). — [6] Ilakovac, K.: Proc. Physic. Soc. A **67**, 601 (1954). — [7] Josephson, B. D.: Phys. Rev. Letters **4**, 341 (1960). — [8] Kistner, O. C., u. A. W. Sunyar: Phys. Rev. Letters **4**, 412 (1960). — [9] Lamb jr., W. C.: Physic. Rev. **55**, 190 (1939). — [10] Lipkin, H. J.: Ann. Physics **9**, 332 (1960). — [11] Lee, L. L., L. Meyer-Schützmeister, J. P. Schiffer u. D. Vincent: Phys. Rev. Letters **3**, 223 (1959). — [12] Malmfors, K. G.: Ark. Fys. **6**, 49 (1953). — [13] Metzger, F. R.: a) in O. R. Frisch: Progress in nuclear physics, Vol. 7, p. 54. London-New York-Los Angeles: Pergamon 1959 (Zusammenfassender Bericht); b) Proc. of the Glasgow Conference, S. 201. London: Pergamon Press 1954. — [14] Mössbauer, R. L.: a) Z. Physik **151**, 124 (1958); b) Naturwissenschaften **45**, 538 (1958); Z. Naturforsch. **14a**, 211 (1959). — [15] Mössbaue r, R. L., u. W. H. Wiedemann: Z. Physik **159**, 33 (1960). — [16] Moon, P. B.: Proc. Phys. Soc. A **64**, 76 (1951). — [17] Nagle, D., P. P. Craig u. J. G. Dash: Phys. Rev. Letters **4**, 237 (1960). — [18] Pasquali, G. De, H. Frauenfelder, S. Margulies u. R. N. Peacock: Phys. Rev. Letters **4**, 71 (1960). — [19] Perlow, G. J., S. S. Hanna, M. Hamermesh, C. Littlejohn, D. H. Vincent, R. S. Preston u. J. Heberle: Phys. Rev. Letters **4**, 74 (1960). — [20] Pound, R. V., u. G. A. Rebka jr.: Phys. Rev. Letters a) **3**, 439 (1959); b) **3**, 554 (1959); c) **4**, 274 (1960). — [21] Schiffer, J. P., u. W. Marshall: Phys. Rev. Letters **3**, 556 (1959). — [22] Steinwedel, H., u. J. H. Jensen: Z. Naturforsch. **2a**, 125 (1947). — [23] Swann, C. P., u. F. R. Metzger: Physic. Rev. **108**, 982 (1957). — [24] Tzara, C., u. R. Barloutaud: Phys. Rev. Letters **4**, 405 (1960). — [25] Visscher, W. M.: Ann. Physics **9**, 194 (1960). — [26] Wertheim, G. K.: Phys. Rev. Letters **4**, 403 (1960).

Göttingen, II. Physikalisches Institut und Institut für Theoretische Physik der Universität

Eingegangen am 13. Juli 1960

Kurze Originalmitteilungen

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich

Phänomenologische Betrachtungen zum Strahlungsgesetz

1. Da die Elementarladung e die kleinste Ladung ist, mit deren Hilfe man ein elektromagnetisches Feld ausmessen kann, bezeichnet der aus e folgende klassische Elektronenradius $a \approx 10^{-13}$ cm bekanntlich eine untere Grenze $\lambda_{\min}$ für Wellenlängen, die physikalisch sinnvoll in der Theorie des elektromagnetischen Feldes vorkommen dürfen. $\lambda_{\min} = a$ entspricht formal ein $\varepsilon_{\max} = ch/a \approx 10^{-3}$ erg. Um die Elektrodynamik der ausgesprochenen Forderung behelfsmäßig anzugleichen, verabreden wir: Das isolierte Strahlungsfeld kann formal wie bisher behandelt werden, mit der einzigen Abänderung, daß Feldzustände mit $\lambda < \lambda_{\min}$ als physikalisch unmöglich weggelassen werden.

2. Wenn man die beschriebene Theorie des isolierten Strahlungsfeldes quantisiert, so hat die verabredete Abschneidevorschrift zur Folge, daß nur formale Energiequanten ε auftreten, für die $0 < \varepsilon < \varepsilon_{\max}$ gilt. Wendet man die Statistik auf die quantisierte Theorie an, so ergibt sich für die Häufigkeit formaler Energiequanten in der Gleichgewichtsstrahlung im Bereich zwischen ε und $\varepsilon + d\varepsilon$:

$$dH \sim \frac{\varepsilon^2\, d\varepsilon}{e^{\beta\varepsilon} - 1} \text{ für } 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\max},$$

$$dH = 0 \cdot d\varepsilon \text{ für } \varepsilon_{\max} < \varepsilon; \quad \beta = 1/kT.$$

3. Die Energie, die bei einem Elementarprozeß zwischen dem Strahlungsfeld und einer angekoppelten Meßapparatur ausgetauscht wird, heiße ε^*. ε^* kann größer sein als $\varepsilon_{\max}$. Bei der kosmischen Strahlung, deren primären elektromagnetischen Charakter wir unterstellen wollen, kommen ε^*-Werte im Bereich $\varepsilon_{\max} < \varepsilon^* < 10^8\, \varepsilon_{\max}$ vor. Bei Elementarprozessen mit $0 < \varepsilon^* \ll \varepsilon_{\max}$ ist folgende Beschreibung richtig: Aus dem Strahlungsfeld verschwindet ein Lichtquant ε und in der Meßapparatur taucht die Energie $\varepsilon^* = \varepsilon$ auf. Bei Prozessen mit $\varepsilon_{\max} < \varepsilon^*$ kann diese Beschreibung nicht richtig sein.

4. Für den Fall des nichtisolierten mit einer Meßapparatur gekoppelten Feldes soll folgende Beschreibung eines Elementarprozesses allgemein zutreffen: Aus dem Strahlungsfeld verschwindet unter anderem ein formales Energiequant, in der Meßapparatur taucht eine Energie $\varepsilon^* \geqq \varepsilon$ auf. Für die Häufigkeit von formalen Quanten ε soll weiterhin die unter 2. angegebene Beziehung gelten. Diese Hypothese ist nicht in dem Sinne zu verstehen, daß der Energiesatz verletzt sein soll. Der Energieinhalt des Strahlungsfeldes soll bei dem Elementarprozeß tatsächlich um ε^* abnehmen. Praktisch läuft das darauf hinaus, daß für die Häufigkeit von Prozessen nach wie vor die Anregungsgrade der Freiheitsgrade des quasiisolierten Strahlungsfeldes verantwortlich sein sollen, daß aber die ausgetauschten Energiebeträge entsprechend einer mit ε^* zunehmenden „Kopplung" der Freiheitsgrade des Systems „Strahlungsfeld + Meßapparatur" bei großem ε^* nicht mehr so errechnet werden können, als ob sie aus einem wegen der Linearität der Feldgleichungen abseparierbaren Freiheitsgrad des isolierten Feldes stammten.

5. Die einfachste Annahme, die man unter den gegebenen Umständen über den Zusammenhang von ε^* mit ε machen kann, lautet:

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon_{\max}\,\varepsilon}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon}.$$

Damit ist insbesondere erreicht, daß mit $\varepsilon/\varepsilon_{\max} \to 0$ auch $\varepsilon^* \to \varepsilon$ geht.

6. Für die Häufigkeit dW von Elementarprozessen mit ausgetauschten Energien zwischen ε^* und $\varepsilon^* + d\varepsilon^*$ folgt aus den gemachten Annahmen:

$$dW \sim \frac{\varepsilon^{*2}\,d\varepsilon^*}{\left(1 + \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon_{\max}}\right)^4 \left(e^{\frac{\beta\varepsilon^*}{1+\varepsilon^*/\varepsilon_{\max}}} - 1\right)}$$

Für den Bereich $0 < \varepsilon^*/\varepsilon_{\max} \ll 1$ folgt daraus das Plancksche Verteilungsgesetz, für den Bereich $1 \ll \varepsilon^*/\varepsilon_{\max}$ jedoch:

$$dW \sim \frac{d\varepsilon^*}{\varepsilon^{*2}\,(e^{\beta\varepsilon_{\max}} - 1)}.$$

Das ist das Eulersche Verteilungsgesetz für die kosmische Strahlung.

7. Die Tatsache, daß das Plancksche Gesetz und das Eulersche Gesetz als Grenzfälle in dem unter 6. angegebenen allgemeinen Verteilungsgesetz enthalten sind, läßt nach unserer Meinung die vorgetragenen phänomenologischen Betrachtungen interessant erscheinen.

Institut für physikalische Chemie der Universität, Frankfurt/Main

HERMANN HARTMANN

Eingegangen am 19. August 1960

Über die Koerzitivfeldstärke zonengeschmolzenen Eisens

Auf Grund experimenteller Untersuchungen[1],[2]) und theoretischer Betrachtungen[3],[4],[5]) ist zu erwarten, daß zonengeschmolzenes Eisen wegen der Verminderung von Störstellen, Versetzungen sowie feindisperser Einschlüsse und wegen seiner Neigung, Einkristalle und großkristalline Bereiche zu bilden, außerordentlich niedrige Koerzitivfeldstärken aufweist.

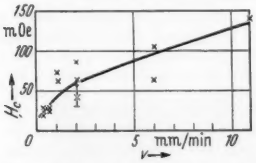


Fig. 1. Die Abhängigkeit der Koerzitivkraft H_c von der Zonengeschwindigkeit v. Material: Reineisen. 1 Zonendurchgang H_2, Ar. Nachglühung: 10 Std, 880° C, H_2

P. P. CIOFFI[6]) erreichte 1932 an Armcoeisen durch Glühung in reinstem Wasserstoff bei 1300° C einen Tiefstwert der Koerzitivfeldstärke von 0,025 Oe.

Unsere Untersuchungen beschäftigten sich mit dem Einfluß des Zonenschmelzens auf die Koerzitivfeldstärke des Eisens. Es wurden Stäbe aus Carbonyleisen von 6 bis 8 mm Durchmesser einfach und mehrfach zonengeschmolzen. Die Stäbe wurden tiegelfrei vertikal mit Schmelzgeschwindigkeiten zwischen 0,3 und 6 mm/min geschmolzen. Neben dem Zonenreinigen wurde eine zusätzliche Reinigungswirkung entsprechend dem von P. P. CIOFFI[7]) angegebenen Verfahren durch Verwendung feuchten Wasserstoffs neben Argon als Schmelzatmosphäre ausgenutzt. Weiterhin wurden die Stäbe nach dem Zonenschmelzen einer Nachglühung bei 880° C in Wasserstoff von etwa 10 Std Dauer unterworfen.

Ergebnisse. Bei einmaligem Zonenschmelzen wurden Koerzitivfeldstärken bis herab zu 0,020 Oe gemessen. Bei einem 5fach zonengeschmolzenen Eisenstab konnte ein Tiefstwert von 0,016 Oe erreicht werden. Als besonders wirksam erwiesen sich Schmelzgeschwindigkeiten unterhalb von 1 mm/min.

Die Fig. 1 zeigt den Zusammenhang zwischen der Zonengeschwindigkeit v und der erreichten Koerzitivfeldstärke H_c. Für $v = 2$ mm/min sind die Meßwerte für einen zerlegten Stab enthalten. Der Streubereich der Koerzitivfeldstärke für die einzelnen Teilstücke ist als senkrechter Strich eingetragen, der zugehörige Mittelwert wurde wie die übrigen Meßpunkte gekennzeichnet (Kreuzchen).

Die Reinigung der Stäbe von metallischen Verunreinigungen wurde spektralanalytisch nachgewiesen. Durch Gasanalysen wurde der Restgehalt an Sauerstoff nach 3fachem Zonenschmelzen zu $6 \cdot 10^{-4}$% und an Stickstoff zu $2 \cdot 10^{-4}$% bestimmt.

Über die Ergebnisse kristallographischer Untersuchungen sowie über Erzeugung von Einkristallen wurde auf der Jahrestagung 1960 der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde berichtet[8]).

Vacuumschmelze A.G., Hanau

A. MAGER und H. HILLMANN

Eingegangen am 26. August 1960

[1]) JENSEN, T. D., u. N. A. ZIEGLER: Trans. Amer. Soc. Metals **23**, 556 (1935). — [2]) PAWLEK, F.: Magnetische Werkstoffe. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1952. — [3]) KERSTEN, M.: Grundlagen einer Theorie der ferromagnetischen Hysterese und Koerzitivkraft. Leipzig: Hirzel 1943. — [4]) MAGER, A.: Ann. d. Physik [IV. F.] **11**, 15 (1952). — [5]) MALEK, Z.: Z. angew. Phys. **6**, 279 (1957). — [6]) CIOFFI, P. P.: Physic. Rev. **39**, 363 (1932); **45**, 742 (1934). — [8]) Zur Veröffentlichung eingereicht in „Zeitschrift für Metallkde.". — Zusammenfassenden Überblick über Zonenschmelzen s. PFANN, W. G.: Zone Melting. New York: Wiley & Sons 1958.

Mechanische Wirkung von Röntgenstrahlen in Kristallen

Die von PODASCHEWSKY[1]) aufgefundene Verfestigung von Steinsalzkristallen unter dem Einfluß von Röntgenstrahlen wurde in den letzten Jahren wiederholt untersucht: WESTERVELT[2]), GORDON und NOWICK[3]), VAUGHAN und DAVISSON[4]) u. a., eine systematische Variation der Bestrahlungsbedingungen wurde jedoch nicht vorgenommen.

Die mit dem Mikrohärteprüfgerät „Durimet" ausgeführten Messungen an bestrahlten Steinsalzkristallen ergaben eine Reproduzierbarkeit von 4 bis 5%. Die Wirkung ist scharf auf den Öffnungswinkel des Röntgenbündels beschränkt und bleibt auch nach $1^1/_2$jähriger Lagerung bei Zimmertemperatur erhalten. Je nach den Bestrahlungsbedingungen wird eine Zunahme des Mikrohärtekennwertes um 40 bis 80% erzielt. An Steinsalz wurde eine gleichartige Änderung auf (100), (110) und (111) gemessen, wobei die natürliche Anisotropie der Härtekennwerte erhalten bleibt.

Die Variation der Bestrahlungszeit liefert wie die Variation der Bestrahlungsstärke Sättigungskurven. Es zeigte sich, daß es dabei gleich ist, ob die Bestrahlungsstärke durch den Röhrenstrom (gleiche Strahlenqualität) oder durch die Röhrenspannung (verschiedene Strahlenqualität) geändert wurde. Hielt man nun bei gleicher Strahlenqualität das Produkt aus der Bestrahlungsstärke und der Zeit konstant, dann wurde eine größere Wirkung gemessen, wenn die Bestrahlungsstärke groß war (gleiche Härtung bei zweifacher Bestrahlungsstärke in $^1/_4$ der Zeit). Dies ist eine Analogie zum Schwarzschild-Effekt der photographischen Schichten.

Untersuchungen mit verschiedenen Strahlenqualitäten (Al-Filter) ergaben gleiche Härtungen, wenn die Anzahl der absorbierten Röntgenquanten gleich ist, unabhängig von dem Energieinhalt der Einzelquanten. Die Anwendung von Co 60-Strahlung (1,4 C, 1 Monat, 1,5 cm Abstand) brachte keine Härtung der Proben. Trotz großer Quantenenergie trat keine Härtung ein, weil die Absorption dieser Strahlung relativ gering ist und somit nur wenige Quanten im Kristall wirksam werden können. Für die Wellenlängenabhängigkeit der Härtungen ergab sich hieraus keine andere als die des Massenschwächungskoeffizienten.

Die Deutung des beschriebenen Härteverhaltens von Steinsalz unter der Einwirkung von Röntgenstrahlen schließt sich eng an den von SEITZ[5]) vorgeschlagenen Mechanismus an, der sich an den eingeschobenen Ebenen von Stufenversetzungen abspielt, indem Leerstellen, von den Versetzungen ausgehend, ins Gitter wandern. Aus der Abhängigkeit der Härtung von der Anzahl der absorbierten Photonen kann man schließen, daß nur solche Ionen an die Versetzungen wandern können, die ein Quant ausreichender — aber jenseits dieser Grenze beliebiger — Größe absorbiert haben. Die statistische Verteilung dieser Absorptionsprozesse ergibt eine statistisch verteilte Wanderung der Ionen und als Folge eine sägezahnförmige Verzerrung der Versetzungslinien, wodurch eine Abgleitung behindert wird, also Verfestigung eintritt.

Mineralogisches Institut der Universität, Hamburg

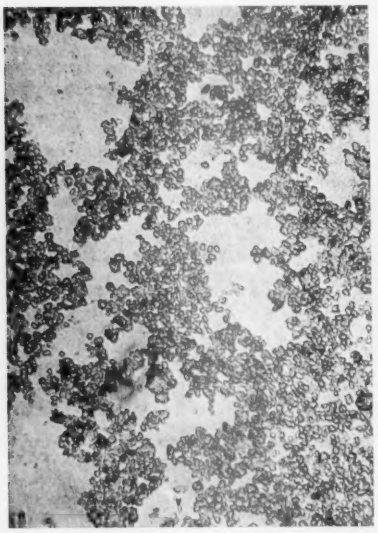
WALTER GORSKI

Eingegangen am 13. August 1960

[1]) PODASCHEWSKY, M. N.: Phys. Z. Sowjet. **8**, 79 (1935). — [2]) WESTERVELT, D. R.: Acta metallurgica **1**, 755 (1953). — Atom. Energ. Comm. NAA-SR-888 (1954). — [3]) GORDON, R. B., u. A. S. NOWICK: Physic. Rev. **101**, 977 (1956). — [4]) VAUGHAN, W. H., u. J. W. DAVISSON: Acta metallurgica **6**, 554 (1958). — [5]) SEITZ, F.: Rev. Mod. Phys. **26**, 7 (1954).

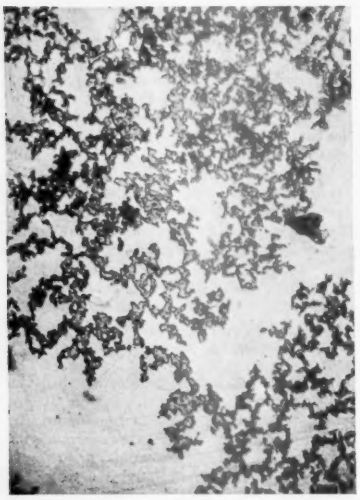
Über die orientierte Aufwachsung von Diol-oligo-urethanen auf verstreckter Polyamidfolie

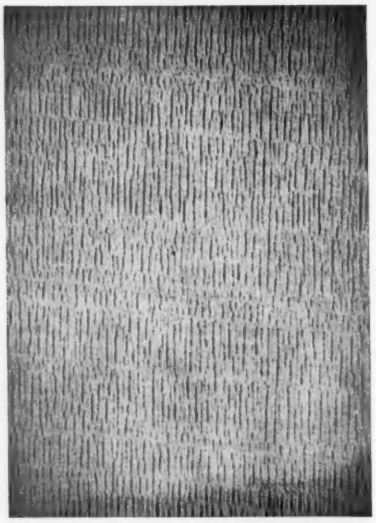
Das orientierte Aufwachsen verschiedener Verbindungen ist eine im Mineralreich oft beobachtete Erscheinung. In den letzten Jahren sind auch bei organischen Substanzen zahlreiche Beispiele von Epitaxie bekannt geworden. In den meisten Fällen handelt es sich um orientierte Aufwachsungen von niedermolekularen organischen Verbindungen auf gut ausgebildete Kristallflächen eines anorganischen oder organischen Trägermaterials. R. B. RICHARDS[1]) benutzte erstmalig kalt verstreckte Kunststoffolien als Aufwachsungsunterlage und erzielte orientierte Abscheidungen von Paraffinen auf verstrecktem Polyäthylen bzw. Polyäthylensebazinsäureester. Später gelang es J. WILLEMS[2]), mehrere niedermolekulare organische Verbindungen auf verstreckten Polyäthylen- bzw. Polyamid-(Nylon 66)folien aufwachsen zu lassen. Demselben Autor[3]) gelang auch erstmalig die orientierte Abscheidung eines hochmolekularen Produktes (Polyäthylen Marlex, M = 10500) auf Natriumchlorid. Auch aus der Oligomerenchemie ist inzwischen ein Beispiel[4]) von Epitaxie bekannt geworden, und zwar die orientierte Aufwachsung von Oligopeptiden auf Quarz.



a b ← Verstreckungsrichtung

Fig. 1a u. b. Diol-di-urethan ($n = 1$) auf unverstreckter (a) und kalt verstreckter (b) Polyamidfolie





a b ← Verstreckungsrichtung

Fig. 2a u. b. Diol-okta-urethan ($n = 4$) auf unverstreckter (a) und kalt verstreckter (b) Polyamidfolie

Bei unseren systematischen Untersuchungen an Diol-oligo-urethanen mit definierter Molekelgröße ergab sich, im Zusammenhang mit röntgenographischen Untersuchungen, die Frage, ob es möglich ist, solche Verbindungen in einer orientierten Form zu erhalten. Über einige Ergebnisse soll hier berichtet werden.

Diol-oligo-urethane lassen sich nach dem Duplikationsverfahren[5]), [6]), [7]) in guter Ausbeute und befriedigender Reinheit synthetisieren. Bei unseren Untersuchungen haben wir uns zunächst auf Diol-oligo-urethane mit den Grundbausteinen Butandiol-1,4 und Hexamethylendiisocyanat-1,6 beschränkt. Es handelt sich um Verbindungen folgender Zusammensetzung:

$$HO(CH_2)_4[O\text{–}CO\text{–}NH\text{–}(CH_2)_6\text{–}NH\text{–}CO\text{–}O(CH_2)_4]_n\text{–}OH$$

$$(n = 1, 2, 3, 4, 5)$$

Die Verwendung von Polyamidfolien*) als Trägermaterial erschien besonders erfolgversprechend, da zwischen dem Gitter der Diol-oligo-urethane**) und dem Polyamidgitter gewisse Analogien bestehen. Die Fig. 1 und 2 zeigen Aufwachsungsversuche mit Diol-di-urethan ($n = 1$) und Diol-okta-urethan ($n = 4$).

Das Diol-di-urethan wurde in 0,1%iger Methanollösung, das Diol-okta-urethan in 0,1%iger heißer Dioxanlösung auf die Folie gebracht. Die anderen Diol-oligo-urethane ($n = 2, 3, 5$) zeigen ähnliche Ergebnisse wie das Diol-okta-urethan. Die Aufwachsungsversuche auf unverstreckter Polyamidfolie (Fig. 1a und 2a) verliefen erwartungsgemäß negativ, während auf kalt verstreckter Folie (350% verstreckt) eine Orientierung der Nadel bzw. Fibrillenlängsachsen senkrecht zur Verstreckungsrichtung zu beobachten ist (Fig. 1b und 2b).

Obwohl aus einer Arbeit von M. BRANDSTÄTTER und A. MARTINEK[8]) hervorgeht, daß die orientierte Abscheidung von organischen Substanzen auf einem Trägermaterial eine ziemlich unspezifische Erscheinung ist, d. h., daß chemische und geometrische Analogien zwischen aufgewachsener Substanz und Trägermaterial keine allzu große Rolle spielen, scheint in unserem Fall eine ähnliche Gitterstruktur Voraussetzung für die Epitaxie zu sein. Orientierte Abscheidungen auf verstreckten Polyäthylen- bzw. Polyäthylenterephthalatfolien gelangen nämlich nicht. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von R. B. RICHARDS[1]) bei seinen Aufwachsungsversuchen gemacht.

Organisch-chemisches Institut der Universität, Mainz.

W. KERN, J. DAVIDOVITS und K. J. RAUTERKUS

Eingegangen am 8. August 1960

[1]) RICHARDS, R. B.: J. Polymer Sci. 6, 397 (1951). — [2]) WILLEMS, J.: Disc. Faraday Soc. 25, 111 (1958). — [3]) WILLEMS, J.:

Experientia [Basel] **13**, 465 (1957). — [4]) SEIFERT, H.: Naturwissenschaften **46**, 261 (1959). — [5]) KERN, W., u. W. THOMA: Makromolekulare Chem. **10**, 10 (1953); **16**, 89 (1955). — [6]) KERN, W., u. K. J. RAUTERKUS: Makromolekulare Chem. **28**, 221 (1958). — [7]) KERN, W., H. KALSCH, K. J. RAUTERKUS u. H. SUTTER: Makromolekulare Chem. (im Druck). — [8]) BRANDSTÄTTER, M., u. M. MARTINEK: Naturwissenschaften **42**, 369 (1955).

*) Es wurde eine Perlonfolie der Firma Kalle AG, Wiesbaden-Biebrich verwendet.

**) Über röntgenographische Untersuchungen an Diol-oligourethanen wird an anderer Stelle berichtet.

Unterscheidung optischer Antipoden durch orientierte Aufwachsungen

Bei Versuchen zur orientierten Aufwachsung von d-Campher auf verschiedenen Kristallträgern (Molybdänglanz, Calcit, Biotit) hat sich ergeben, daß nur eine von zwei möglichen

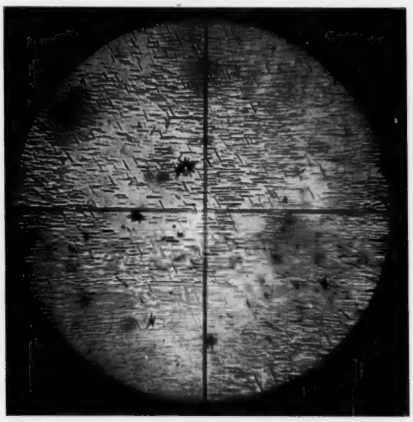


Fig. 1. Orientierte Aufwachsung von D(—)-Alanin auf (001) von Baryt (*a*-Achse von Baryt || Vertikalfaden!). Vergr. 192fach

asymmetrischen Stellungen der ausgeschiedenen d-Campher-Kristalle (δ- und λ-Stellung) zu beobachten ist oder mindestens statistisch reproduzierbar überwiegt[1]). Wenn bei der Epitaxie einer d-Kristallart die λ-Stellung vorherrscht, so müßte die

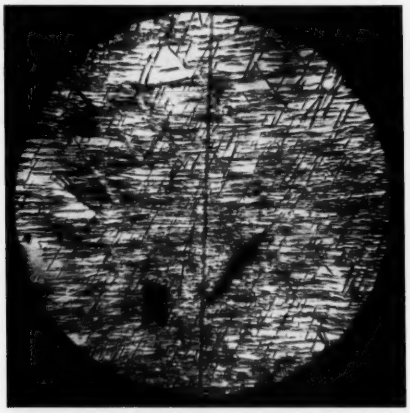


Fig. 2. Orientierte Aufwachsung von L(+)-Alanin auf (001) von Baryt (Orientierung wie Fig. 1). Vergr. 192fach

entsprechende l-Antipode die δ-Stellung bevorzugen. Dieser Effekt ist inzwischen experimentell auch nachgewiesen worden.

Die beobachteten Erscheinungen bei der orientierten Aufwachsung von Spiegelbildisomeren legen es nahe, die Epitaxie als Verfahren zur Unterscheidung optischer Antipoden auszuwerten. Tatsächlich ist es ohne weiteres möglich, d-Campher, l-Campher und dl-Campher auf Grund der Orientierungen etwa auf (001) von Glimmer (Margarit, Phlogopit, Biotit, Muskovit usw.) zu unterscheiden. In den Fig. 1 und 2 sind als besonders instruktives Beispiel orientierte Aufwachsungen von D(—)-Alanin und L(+)-Alanin auf (001) von Baryt wiedergegeben. Der Vorzug dieser Methode gegenüber optischen Nachweisverfahren ist der, daß relativ geringe Substanzmengen ausreichen.

Mineralogisch-Petrographisches Institut und Museum der Humboldt-Universität, Berlin

W. KLEBER und L. ICKERT

Eingegangen am 2. September 1960

[1]) KLEBER, W., u. K. MEYER: Naturwissenschaften **44**, 373 (1957). — Z. anorg. allg. Chem. **296**, 164 (1958).

Über Cadmium-Vanadin-Spinelle

Von den bisher noch unbekannten Cadmium-Vanadin-Spinellen konnte der Vanadin(III)-Spinell CdV_2O_4 durch mehrtägiges Erhitzen eines äquimolekularen Gemischs von CdO und V_2O_3 auf Temperaturen zwischen 900 und 1000° in einer evakuierten Quarzampulle erhalten werden. Dabei durfte in der Ampulle kein Temperaturgefälle herrschen, da sich sonst im kälteren Teil metallisches Cadmium abschied, das sehr leicht aus CdO durch die reduzierende Wirkung des V_2O_3 gebildet wird. Ähnliche Beobachtungen haben RÜDORFF und REUTER[1a]) auch bei der Darstellung des Zink-Vanadin(III)-Spinells ZnV_2O_4 gemacht.

CdV_2O_4 ist ein tiefschwarzes, feinkristallines Pulver, das in seinen chemischen Eigenschaften den übrigen Vanadin(III)-Spinellen entspricht. Durch Wasser, Laugen und nichtoxydierende Säuren wird es nicht angegriffen. Es löst sich nur in oxydierenden Säuren.

Die Gitterkonstante des CdV_2O_4 wurde nach der Extrapolationsmethode von NELSON und RILEY[2]) zu $a = 8{,}68 \pm 0{,}01$ Å bestimmt. Sie ist damit wesentlich größer als die der übrigen bisher bekannten Vanadin(III)-Spinelle, was auf Grund des großen Ionenradius des Cd^{2+}-Ions verständlich ist. Sie liegt jedoch im Bereich der Gitterkonstanten anderer Cadmiumspinelle [$CdCr_2O_4$: $a = 8{,}57$ Å[3]); $CdFe_2O_4$: $a = 8{,}69$ Å[3]); $CdGa_2O_4$: $a = 8{,}57$ Å[1b])]. Die pyknometrisch bestimmte Dichte beträgt 5,5 g/cm³, röntgenographisch ergibt sich 5,7 g/cm³.

Die Darstellung eines Cadmium-Vanadin(IV)-Spinells Cd_2VO_4 aus CdO und VO_2 ist bisher nicht gelungen. Dies steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von RÜDORFF, WALTER und BECKER[4]) sowie von REUTER u. Mitarb.[5]), [6]), die zeigen konnten, daß die bisher bekannten Vanadin(IV)-Spinelle alle zur Disproportionierung neigen und daher nicht rein darstellbar sind. Der für einen oxydischen Spinell sehr große Radius des Cd^{2+}-Ions läßt es verständlich erscheinen, daß ein Cadmium-Vanadin(IV)-Spinell mit 2 Cd^{2+}-Ionen und dem kleinen V^{4+}-Ion besonders unbeständig ist. Es war jedoch möglich, ein CdO-VO_2-Gemisch im Verhältnis des hypothetischen Cd_2VO_4 bis zu etwa 20 Mol-% in CdV_2O_4 zu lösen. In diesem Gebiet begrenzter Mischbarkeit wird also offenbar der in reinem Zustand nicht existenzfähige Cadmium-Vanadin(IV)-Spinell durch den Vanadin(III)-Spinell stabilisiert.

Die Untersuchungen wurden durch die Gewährung von ERP-Forschungsmitteln sowie von Forschungsbeihilfen durch den Fonds der Chemischen Industrie und die Gesellschaft von Freunden der Technischen Universität Berlin sehr gefördert.

Berlin, Anorganisch-Chemisches Institut der Technischen Universität

BERTOLD REUTER und GÜNTER MARX

Eingegangen am 10. September 1960

[1]) RÜDORFF, W., u. B. REUTER: Z. anorg. Chem. **253**, a) 177, b) 194 (1947). — [2]) NELSON, J. B., u. D. P. RILEY: Proc. Physic. Soc. **57**, 160 (1945). — [3]) VERWEY, E. J. W., u. E. L. HEILMANN: J. Chem. Physics **15**, 174 (1947). — [4]) RÜDORFF, W., G. WALTER u. H. BECKER: Z. anorg. allg. Chem. **285**, 287 (1956). — [5]) REUTER, B., u. J. SIEWERT: Naturwissenschaften **44**, 440 (1957). — [6]) REUTER, B., J. JASKOWSKY u. E. RIEDEL: Z. Elektrochem., Ber. Bunsenges. physik. Chem. **63**, 937 (1959).

Elektronenaffinität des Sauerstoffs

Im Zusammenhang mit thermodynamischen Rechnungen an oxydischen Festkörpern ergab sich die Notwendigkeit, die Affinität des Sauerstoffatoms zur Aufnahme von zwei Elektronen ($O + 2e \rightarrow O^{--}$) möglichst genau zu kennen. Da die Literaturangaben über diese wichtige Energiegröße des Sauerstoffs zum Teil sehr stark voneinander abweichen[1–6]), wurde der Wert neu berechnet. Mit Hilfe des Haber-Bornschen Kreisprozesses wurde die gesuchte Elektronenaffinität des

Sauerstoffs aus acht Metalloxyden ermittelt, die drei verschiedenen Gitterstrukturtypen angehören. Für die Berechnung der Gitterenergie (U_0) wurde die Born-Landé-Gleichung:

$$U_0 = -\frac{z_1 \cdot z_2 \cdot e^2 \cdot N_L}{r_0} \alpha \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

benutzt. Hierin bedeuten: z_1, z_2 Wertigkeiten der Kationen bzw. Anionen, e Elementarladung, r_0 kürzester Abstand zwischen Kation und Anion im Gitter, α Madelungsche Zahl, N_L Loschmidtsche Zahl, n Bornscher Abstoßungsexponent.

Die Bornschen Abstoßungsexponenten n der acht Oxyde wurden nach PAULING[7]) berechnet. Die für den Haber-Bornschen Kreisprozeß benötigten Ionisierungsenergien wurden den Tabellen von LANDOLT-BÖRNSTEIN[8]) entnommen. Die thermochemischen Daten entstammen den „Selected Values" des Bureau of Standards[9]) und einer Arbeit von SHERMAN[1]). Die Tabelle enthält die verwendeten Daten und die Ergebnisse der Rechnungen.

Tabelle

Substanz	r_0	n	U	Q	E_J	S	E''_A
1. Li_2O	1,995	6,0	−698,9	−142,4	249,0	37,07	−174,2
2. CaO	2,40	8,0	−845,3	−151,9	415,3	46,04	−172,8
3. SrO	2,57	8,5	−796,1	−141,1	384,9	39,2	−171,7
4. BaO	2,76	9,5	−751,7	−133,4	350,7	41,96	−166,4
5. FeO	2,14	8,0	−946,9	− 63,7	561,0	96,7	−166,3
6. CoO	2,125	8,0	−954,5	− 57,2	582,0	85,9	−170,2
7. NiO	2,095	8,0	−968,7	− 58,4	595,6	85,0	−170,5
8. ZnO	1,95	8,0	−976,7	− 83,2	631,6	31,2	−171,5

Struktur: bei 1 Fluorit, bei 2 bis 7 NaCl, bei 8 Wurzit. U Gitterenthalpie (kcal/Mol); Q Normalbildungsenthalpie (kcal/Mol); E_J bei einwertigen Ionen: 1. Ionisierungsenergie, bei zweiwertigen Ionen: Summe aus 1. und 2. Ionisierungsenergie (kcal/Mol); S Normalsublimationsenthalpie der Metalle (kcal/Mol); E''_A Affinität des Sauerstoffatoms zur Aufnahme von zwei Elektronen. Die Normaldissoziationsenthalpie D des Sauerstoffs ($^1/_2\, O_2 \rightarrow O$) beträgt in allen Fällen 59,2 kcal/Mol.

Hieraus ergibt sich für die Affinität des Sauerstoffatoms zur Aufnahme von zwei Elektronen ein Mittelwert von:

$$E''_A = -170{,}5 \pm 4 \text{ kcal/Mol}.$$

Dieses Ergebnis befindet sich in guter Übereinstimmung vor allem mit den Werten von DE BOER und VERWEY (-173 ± 15 kcal/Mol)[2]) und KAPUSTINSKII (-172 ± 5 kcal/Mol)[4]) und darf im Hinblick darauf, daß Oxyde von drei verschiedenen Gittertypen berücksichtigt wurden, als hinreichend zuverlässiger Wert angesehen werden.

Farbwerke Hoechst A.G., vormals Meister Lucius & Brüning, Frankfurt a. M.-Höchst

HARTMUT GOSSEL

Eingegangen am 1. September 1960

[1]) SHERMAN, I.: Chem. Reviews **11**, 93 (1932). — [2]) BOER, I.H. DE, u. E.J.W. VERWEY: Recueil Trav. chim. Pays-Bas **55**, 443 (1936). — [3]) WICKE, E.: Naturwissenschaften **33**, 132 (1946). — [4]) KAPUSTINSKII, A.F.: Quart. Rev. Chem. Soc. Lond. **10**, 283 (1956). — [5]) HUGGINS, M.L., u. Y. SAKAMOTO: J. phys. Soc. Japan **12**, 241 (1957). — [6]) MORRIS, D.F.C.: Proc. Roy. Soc. A **116** (1957). — [7]) PAULING, L.: Z. Kristallogr. **67**, 377 (1928). — [8]) LANDOLT-BÖRNSTEIN I/1, S. 211. 1950. — [9]) Selected Values of Chem. Thermodyn. Prop. Nat. Bur. of Standards, S. 500, 1952.

Über die Lage der Valenzfrequenz der N=N-Doppelbindung in Derivaten der Azodicarbonsäure

Von molekelspektroskopischen Untersuchungen an Derivaten der Azodicarbonsäure sind bisher lediglich IR-Spektren des Diäthyl- und Di-n-propylesters bekannt[1]). Eine der N=N-Valenzschwingung zuzuordnende Bande wurde dabei nicht beobachtet. Entsprechend dem Charakter dieser Schwingung ist allerdings zu erwarten, daß sie im IR nur schwach auftreten kann bzw. bei Vorliegen eines Symmetriezentrums in der Molekel (trans-Konfiguration) ganz fehlen muß. Wir haben daher den Diäthylester der Azodicarbonsäure nach Wiederholung der IR-Messungen, wobei wir die Ergebnisse von LEFÈVRE[1]) im wesentlichen bestätigen konnten, raman-spektroskopisch durch Anregung mit Hg 5461 untersucht und konnten dabei die folgenden Frequenzen (in cm^{-1}) beobachten: 2965 (2), 2926 (3), 1772 (8), 1555 (8), 1456 (10), 1395 (1, br.), 1280 (2, br), 1110 (2) und 864 (3). Die bei 1555 cm^{-1} auftretende starke Raman-Linie ordnen wir der N=N-Valenzschwingung*) zu. Unsere Zuordnung wird dadurch gestützt, daß eine entsprechende Linie im Raman-Spektrum des Diäthylesters der Hydrazodicarbonsäure fehlt; im Raman-Spektrum des Azomethans tritt dagegen im gleichen Bereich bei 1576 cm^{-1} eine mäßig starke Raman-Linie auf, die WEST und KILLINGWORTH[2]) auch der N=N-Valenzschwingung zuordnen. STAMMREICH deutet dagegen eine Linie bei 1442 cm^{-1}, beobachtet durch Messung des Raman-Spektrums von Azobenzol in CCl_4 gelöst, als N=N-Valenzfrequenz der trans-Form des Azobenzols[3]) und verweist dabei auf eine starke Raman-Linie im Spektrum des Azomethans bei ebenfalls 1442 cm^{-1}. Nun zeigt zwar das Raman-Spektrum des Azodicarbonsäurediäthylesters in diesem Frequenzbereich auch eine starke Raman-Linie bei 1456 cm^{-1}. Jedoch dürfte es sich dabei, ebenso wie im Spektrum des Azomethans, um eine C-H-Deformationsschwingung handeln. Bestätigt wird diese Zuordnung durch die Spektren des Kaliumsalzes der Azodicarbonsäure. In Absorption (in Nujol und Tripen) konnte wiederum keine der N=N-Valenzschwingung zugehörende Bande beobachtet werden. Die hier auftretenden Banden (in cm^{-1}) bei 1688 (st, sch), 1678 (st), 1625 (ss, sch), 1315 (st), 988 (ss), 893 (st), 810 (m), 638 (m) und 544 (ss) entsprechen den Absorptionen analoger Schwingungen des Fumarations[4]) und machen somit die trans-Konfiguration für das Azodicarbonation sehr wahrscheinlich, was auch — wie tatsächlich beobachtet — das Fehlen der N=N-Valenzschwingung im IR erfordert. Durch die erheblichen Schwierigkeiten bei der Aufnahme des Raman-Spektrums (es mußte das stark gelb gefärbte K-Salz im festen Zustand untersucht werden) konnten vorläufig nur die beiden stärksten Linien bei 1355 cm^{-1} und 1562 cm^{-1} zur Beobachtung gebracht werden, von denen wir die erstere ν_sCO zuordnen (Bindungsausgleich im Carboxylation). Daß es sich bei der zweiten Linie ohne Zweifel um die Frequenz der N=N-Doppelbindung handelt, beweisen deren Intensität und die nahezu gleiche Frequenzlage wie im Spektrum des Äthylesters. Wesentlich für unsere Zuordnung ist, daß im Gebiet von 1450 cm^{-1} keine Linie beobachtet wurde.

Neuerdings haben KÜBLER, LÜTTKE und WECKHERLIN[5]) durch IR-spektroskopische Untersuchung isotoper Stickstoffverbindungen die N=N-Valenzfrequenz in cis-Azobenzol, monosubstituierten trans-Azobenzolen und Diazoaminobenzol bei 1511 cm^{-1} bzw. um 1414 cm^{-1} bzw. bei 1416 cm^{-1} lokalisieren können, d.h. in dem von LEFÈVRE u. Mitarb.[6]) wahrscheinlich gemachten Bereich. Die Depression gegenüber den an aliphatischen Azoverbindungen gefundenen Werten ist wohl auf teilweisen mesomeren Bindungsausgleich durch Konjugation mit den Phenylresten zurückzuführen.

Institut für anorganische und anorganisch-technische Chemie der Technischen Hochschule, Dresden

A. SIMON und H. WAGNER

Eingegangen am 6. September 1960

*) Über die Deutung der übrigen Linien sowie über die gesamten Untersuchungen soll an anderer Stelle berichtet werden.

[1]) LEFÈVRE, R.J.W., W.T. OH, I.H. REECE, R. ROPER u. R.L. WERNER: Austral. J. Chem. **11**, 92 (1958). — [2]) WEST, W., u. R.B. KILLINGWORTH: J. Chem. Physics **6**, 1 (1938). — [3]) STAMMREICH, H.: Experientia [Basel] **6**, 224 (1950). — [4]) DUVAL, LECOMTE u. DELAY: Bull. Soc. chim. France V **11**, 180 (1944). — [5]) KÜBLER, R., W. LÜTTKE u. S. WECKHERLIN: Z. Elektrochem. Ber. Bunsenges. physik. Chem. **64**, 650 (1960); Angew. Chem. **72**, 463 (1960). — [6]) LEFÈVRE, R.J.W., M.F. O'DWYER u. R.L. WERNER: Austral. J. Chem. **6**, 341 (1953). — LEFÈVRE, R.J.W., J.B. SOUSA u. R.L. WERNER: Austral. J. Chem. **9**, 151 (1956). — LEFÈVRE, R.J.W., u. R.L. WERNER: Austral. J. Chem. **10**, 26 (1957).

The Phytochemistry on the Tobacco Alkaloids. II[1])

Isolation of d-Form Predominant Nornicotine from the Roots of *Nicotiana tabacum* L.

Recently the presence of nornicotine in the roots of some *Nicotiana* plants has been shown paper chromatographically[2]). In a previous paper[3]), we have also demonstrated paper chromatographically the presence of the alkaloid in the roots and sap of some tobacco plants. It was considered to be of some importance to make a further investigation on the nornicotine

content in the roots, and in the course of phytochemical studies on the tobacco alkaloids we have undertaken such a study. The present paper deals with the results.

The method of isolation of nornicotine was identical with that reported in a previous paper[3]), and 84 kg of the dried roots of *Nicotiana tabacum* L. yielded a crude mixture of alkaloids weighing 89·3 g. The mixture was fractionally distilled *in vacuo* and yielded 1·6 g of oil boiling at 111 to 113° (1·5 mm). A paper chromatogram of the oil revealed the presence of nornicotine, anatabine and anabasine. The oil was chromatographed on alumina and elution with 5% methanol in ether gave anatabine in the first four fractions and nornicotine in the following nine fractions. Anabasine remained on the column.

After removal of the solvent, the residue of combined fractions containing nornicotine was chromatographed again by the same way as above and elution with 1% methanol in ether gave nornicotine in the 18th to 31st fractions. After removal of the solvent, the combined fractions containing nornicotine gave 0·1273 g of nornicotine boiling at 111° (3 mm). The dipicrate of the nornicotine melted at 187 to 188° and the mixed melting point with an authentic sample showed no depression from this figure.

Anal.: Found C, 41·74; H, 3·09; N, 18·23. Calcd. C, 41·59; H, 2·99; N, 18·48.

The oil weighing 0·11698 g was dissolved in 2·54 ml of *p*-dioxane[4]) and the solution gave an optical rotation of $\alpha_D^{24.5} = +0{\cdot}928°$, which corresponded to a specific rotation for nornicotine of $[\alpha]_D^{24.5} = +20{\cdot}156°$.

Nornicotine was recovered as a residue from the solution used above after distilling off the solvent. The residual nornicotine was methylated with 3 ml of 37% formaldehyde and 2 ml of 95% formic acid under heat on a water-bath for 7 hrs. By the usual method the reaction mixture yielded 66·98 mg of nicotine boiling at 85° (2 mm). The dipicrate of the nicotine melted at 224° alone and with an authentic sample.

Anal.: Found C, 42·75; H, 3·49; N, 17·98. Calcd. C, 42·59; H, 3·25; N, 18·06. The nicotine solution had an optical rotation of $\alpha_D^{24.5} = +1{\cdot}015°$ (c 2·626, *p*-dioxane, 1 dm), $[\alpha]_D^{24.5} = +38{\cdot}652°$.

The ratio (−22·9) of the rotatory power of the nicotine obtained above and that of *l*-nicotine is identical within experimental errors with the ratio (−23·0) of the rotatory power of the nornicotine isolated from the roots and that of *l*-nornicotine. This may prove the purity of the nornicotine isolated in this study.

Anatabine isolated above had an optical rotation of $[\alpha]_D^{24.5} = -9{\cdot}982°$ (c 6·612, *p*-dioxane, 1 dm) and the value is far lower than that of optically pure *l*-anatabine ($[\alpha]_D^{17} = -117{\cdot}8°$), and also lower than that of anatabine ($[\alpha]_D^{19} = -98{\cdot}15°$) isolated from the tobacco leaves by us[3]).

This is the first report which has demonstrated the presence of nornicotine in the tobacco roots by isolation of the alkaloid. The result discribed in this paper has shown that nornicotine in the tobacco is not the optically pure *l*-form but a *d,l*-mixture containing predominantly the *d*-form. On the other hand, nicotine even in the roots is always the optically pure *l*-form in *Nicotiana* plants[5]). Nornicotine having predominantly the *d*-form has been isolated by SPÄTH et al.[6]) from *Duboisia Hopwoodii* F. V. MUELL, an Australian *Solanacee* plant but there has been no report on the presence of the predominantly *d*-form mixture of nornicotine in *Nicotiana* plants.

Results of a number of studies on the biogenesis of the tobacco alkaloids with isotopically labelled compounds would seem to indicate that nornicotine may be a precursor of nicotine in tobacco plants, and the presence of nornicotine in the tobacco roots seems to favor this prediction. However, results of grafting experiments have shown that nornicotine arises only at the expense of nicotine in the leaves of *Nicotiana* plants.

In the first paper of this series we have demonstrated that nornicotine derived from *l*-nicotine in the detached tobacco leaves is not the optically pure *l*-form and have shown that the optical rotatory power of nornicotine in the leaves is varied depending on the sources.

The present result concerned with optical properties would cast doubt on the prediction that nornicotine is a direct precursor of nicotine, unless mechanism(s) through which *d,l*-nornicotine containing predominantly the *d*-form can give rise to optically pure *l*-nicotine in *Nicotiana* plants in the roots is solved.

Central Research Institute, Japan Monopoly Corporation
Yutaka-machi, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan

TAKURO KISAKI and EINOSUKE TAMAKI[7])

Eingegangen am 1. September 1960

[1]) Part I of this series is in press: Arch. Biochem. Biophys. — [2]) See a recent review by MOTHES, K.: Symp. Soc. Exp. Biol. **13**, 258 (1959). — [3]) WADA, E., T. KISAKI and M. IHIDA: Arch. Biochem. Biophys. **80**, 258 (1959). — [4]) Since the specific rotation of *l*-nornicotine was lowered in certain solvents, the rotation of an authentic *l*-nornicotine of the corresponding solvent and concentration was measured as a check. — [5]) Unpublished data. — [6]) SPÄTH, E., C. S. HICKS and E. ZAJIC: Chem. Ber. **68**, 1388 (1935). — [7]) His former name was EINOSUKE WADA.

Die Wirkung der Desoxyribonuclease auf die Gewebsatmung von Rattenleberschnitten

Nach den Untersuchungen von S. BRODY[1]) steigert sich im Laufe der normalen Regeneration parallel mit der gesteigerten DNS-Synthese auch die DN-ase-Aktivität. Dieses Gleichgewicht wird in den malignen Tumoren zerstört, weil der DNS-Synthese nicht eine gesteigerte, sondern eine verminderte DN-ase-Aktivität folgt.

In einem unserer früheren Experimente (1956) fanden wir[2]), daß die in großen Dosen (150 mg neutr. DN-ase in 4 ml physiol. NaCl-Lösung aufgelöst + 1 ml Ascitestumorzellen) verwendete Desoxyribonuclease antitumorale Wirkung besitzt. Während bei den Kontrolltieren der Ascitestumor sich entwickelte, brachten die mit DN-ase inkubierten Tumorzellen keinen Ascitestumor zustande. Das DN-ase-Enzym war von antitumoraler und antimitotischer Wirkung. Mit einem ebenfalls von einem unter uns (E. SORU) später hergestellten Enzym konnten wir weder die antitumorale noch die antimitotische Wirkung aufweisenden Experimente wiederholen. Möglicherweise war die Aktivität in vivo des zu verschiedenen Zeiten hergestellten Enzyms verschieden.

CHÈVREMONT u. Mitarb.[3]) beobachteten an Gewebekulturen eine antimitotische Wirkung, ZAHN und KIEFER[4]) haben in ihrer Arbeit über den Einfluß von Desoxyribonuclease auf die Entwicklungsgeschwindigkeit von Amphibieneiern festgestellt, daß kleine Dosen (1 bis 10 γ/ml) eine stimulierende, große Dosen (50 bis 100 γ/mg) dagegen eine hemmende Wirkung besitzen.

Um weitere Wirkungen der DN-ase auf den Zellstoffwechsel zu studieren, untersuchen wir in unseren gegenwärtigen Experimenten die Enzymwirkung der DN-ase auf den Sauerstoffverbrauch von Rattenleberschnitten. Zu den Untersuchungen verwendeten wir die Leber von männlichen Ratten, die 24 Std lang gehungert hatten. Der Sauerstoffverbrauch der 0,2 g schweren Rattenleberschnitte wurde nach der Methode von WARBURG in 3 ml Phosphatpufferlösung (M/15, p_H = 7,38) gemessen. In 5 Warburg-Gefäße gaben wir aktives DNS-ase-Enzym, in 5 andere Gefäße durch Hitze denaturiertes Enzym zwecks Kontrolle. Der Sauerstoffverbrauch wurde alle 20 min über 2 Std kontrolliert.

Tabelle. *Sauerstoffverbrauch (in mm³)*

Zeit (min)	20	40	60	80	100	120
1. Kontrolle . . .	21	48	72	99	125	149
0,35 mg DN-ase	23	50	72	97	123	146
2. Kontrolle . . .	31	57	112	122	165	172
0,5 mg DN-ase	32	62	115	125	157	168
3. Kontrolle . . .	25	50	77	95	115	132
0,5 mg DN-ase	27	55	80	107	139	153
4. Kontrolle . . .	51	79	101	128	152	180
0,75 mg DN-ase	45	84	119	159	171	210
5. Kontrolle . . .	35	69	101	128	152	180
0,75 mg DN-ase	40	79	114	138	167	198
6. Kontrolle . . .	44	77	112	135	165	193
1 mg DN-ase .	40	82	120	150	187	220
7. Kontrolle . . .	25	75	98	114	134	150
1 mg DN-ase .	45	101	137	163	179	221
8. Kontrolle . . .	42	68	115	154	170	227
1,25 mg DN-ase	59	102	138	169	251	312
9. Kontrolle . . .	24	57	84	107	135	162
1,25 mg DN-ase	36	68	99	133	179	235

Wie die Tabelle zeigt, wird der Sauerstoffverbrauch von 0,35 bis 0,50 mg DN-ase nicht beeinflußt, hingegen wird er von

der in 3 ml Phosphatpufferlösung gelösten 0,75 mg DN-ase in geringem, von 1 und 1,5 mg in erheblichem Maße gesteigert.

Biochemische Abteilung des Institutes „Cantacuzino", Bucarest

EUGENIA SORU

Biochemische Abteilung des Pharmakologischen Institutes der Universität zu Tg. Mureş (Marosvásárhely)

A. EPERJESSY, A. KISS und J. CSEGEDI

II. Medizinische Universitätsklinik zu Tg. Mureş (Marosvásárhely)

CS. HADNAGY

Eingegangen am 18. August 1960

[1]) BRODY, S.: Nature [London] **182**, 1386 (1958). — [2]) SORU, E., CS. HADNAGY u. F. GYERGYAY: Orvosi Szemle **2**, Nr. 2, 96 (1956). — [3]) CHÈVREMONT, M., S. CHÈVREMONT-COMHAIRE u. E. BAECKELAND: Arch. Biol. **70**, 811, 833 (1959). — [4]) ZAHN, R.K., u. G.G. KIEFER: Exp. Cell. Res. **19**, 460 (1960).

Über den Stoffwechsel von Radiosamarium (^{153}Sm) in der weißen Maus

Während über den Stoffwechsel einer ganzen Anzahl von radioaktiven Seltenen Erden bereits mehrfach Mitteilungen im einschlägigen Schrifttum vorliegen (z.B. über ^{144}Ce, ^{147}Pm, ^{166}Ho, ^{177}Lu), ist bislang über Verteilung und Ausscheidung von Radiosamarium kaum etwas bekannt geworden. Lediglich DURBIN u. Mitarb. teilen einige kurze Angaben im Rahmen ihrer Untersuchungen über den Stoffwechsel der Lanthaniden mit [1]). Wir haben daher diese Frage eingehender untersucht und möchten unsere vorläufigen Ergebnisse kurz darstellen.

Methodik. Insgesamt 72 männlichen und weiblichen Mäusen eines institutseigenen Albinostammes im Gewicht von 19 ± 2 g wurden jeweils 10 µc ^{153}Sm (β^-, e^-, γ-Strahler, Halbwertszeit 47 h) als Chlorid in 0,2 ml (p_H-Wert 3,0) intraperitoneal oder subkutan injiziert. Die applizierte Gewichtsdosis betrug infolge der spezifischen Aktivität des von uns verwendeten ^{153}Sm 10^{-5} g pro Tier, liegt also gegenüber derjenigen trägerfreier Radionuklide relativ hoch. Nach 1, 3, 6 und 24 h sowie 3 und 6d wurden die Tiere getötet und die Radioaktivität in folgenden Organen mittels eines Szintillationszählers gemessen: Blut, Lungen, Leber, Milz, Pankreas, Nieren, Femur, Gonaden und Injektionsstelle der Haut. Außerdem wurde die ^{153}Sm-Ausscheidung innerhalb der ersten 24 h nach der Injektion in Harn und Kot bestimmt. Die Gesamtblutmenge wurde mit 6% des Körpergewichts angenommen, die Gesamtaktivität des Skeletts in üblicher Weise mit dem zwanzigfachen Femurwert angegeben. Sämtliche Aktivitätswerte wurden entsprechend der Zerfallsrate korrigiert.

Ergebnisse. 1. Subkutane Applikation. Radiosamarium in der vorliegenden Form wird außerordentlich schlecht resorbiert, nach 3 h fanden sich 0,5% der injizierten Dosis im Blut. Allerdings wurden zu späteren Zeitpunkten etwas höhere Aktivitäten beobachtet (6d: 1,6%). Weitaus die größte Menge ließ sich bis zum Ende der Beobachtungszeit an der Injektionsstelle im Subkutangewebe nachweisen. Nach 24 h fanden sich dort noch 95,1%, nach 6d immerhin noch etwa 92% wieder. Dementsprechend konnten in den einzelnen Organen nur geringe ^{153}Sm-Mengen gemessen werden. An der Spitze steht die Leber, deren Werte von 0,34% (1 h) kontinuierlich bis auf 2,6% nach 6d anstiegen. In den Nieren fand sich — wohl in Zusammenhang mit der Ausscheidung — ein geringfügiges Maximum nach 24 h (0,1%), ein zweites am Ende der Beobachtungszeit mit 0,42%. Im Skelett stiegen die Werte ähnlich denen der Leber gleichfalls an: von 0,18% (1 h) auf 5,7% (6 d). In den übrigen Organen wurde nur sehr wenig gefunden. Eine Darstellung der Aktivitätskonzentrationen in den wesentlichen untersuchten Organen, wie sie für die Beurteilung der Radiotoxizität bedeutsam ist, findet sich in Tabelle 1.

Die höchsten Werte zeigen hier Leber und Skelett, während bei den übrigen Organen keine bedeutenden Konzentrationen auftreten. Die Ausscheidung im Kot betrug innerhalb der ersten 24 h 0,43%, im Harn wurden 0,05% ausgeschieden. Insgesamt wurden in den untersuchten Organen, der Injektionsstelle und in den Exkreten nahezu 100% der injizierten Dosis wiedergefunden.

2. Intraperitoneale Applikation. Hierbei erfolgte die Resorption deutlich ausgiebiger und rascher. Die Maxima der Aktivität im Blut wurden bereits kurze Zeit nach der Injektion beobachtet (1h: 2,29%), doch kam es nach einigen Tagen

Tabelle 1. *Aktivitätskonzentration in Organen der Maus nach subkutaner Injektion von $^{153}SmCl_3$ (%/100 mg Gewebefrischgewicht). Mittelwerte aus 6 Tieren*

Organ	1 h	3 h	6 h	24 h	3d	6d
Blut	0,016	0,045	0,016	0,059	0,113	0,153
Lungen	0,015	0,016	0,003	0,012	0,041	0,128
Leber	0,063	0,053	0,070	0,188	0,132	0,291
Milz	0,017	0,012	0,015	0,037	0,021	0,216
Pankreas	0,010	0,026	0,013	0,025	0,029	0,098
Nieren	0,021	0,028	0,039	0,053	0,034	0,265
Skelett (Femur)	0,017	0,049	0,044	0,131	0,171	0,691

ebenfalls wie bei subkutaner Applikation zu einer erneuten Erhöhung der Werte. Aus diesem Grunde lagen die Aktivitätswerte der Organe wesentlich höher. So fanden sich in den Nieren nach 24 h 1,3% der injizierten Dosis wieder. Im Skelett zeigte sich entsprechend den Werten nach subkutaner Applikation ein langsames Ansteigen von 1,53% (1 h) auf 12,37% am Ende der Beobachtungszeit. Die an den Bauchorganen gemessenen Aktivitäten lagen durchweg recht hoch. Die Hauptmenge wies wiederum die Leber auf mit maximal 44,2% nach 3 h, auch Milz (24 h: 3,94%) und Pankreas (3h: 6,8%) zeigten beträchtliche Aktivitäten. Interessant ist, daß im Gegensatz zu den meisten extraperitoneal gelegenen Organen die Bauchorgane im Laufe der Beobachtungszeit eine Verminderung der Aktivität beobachten lassen, während erstere fast durchweg einen zweiten Aktivitätsanstieg aufweisen (Tabelle 2).

Tabelle 2. *Aktivitätskonzentration in Organen der Maus nach intraperitonealer Injektion von $^{153}SmCl_3$ (%/100 mg Gewebefrischgewicht). Mittelwerte aus 6 Tieren*

Organ	1 h	3 h	6 h	24 h	3d	6d
Blut	0,215	0,112	0,044	0,011	0,048	0,065
Lungen	0,092	0,107	0,065	0,090	0,197	0,423
Leber	2,397	4,130	2,311	3,184	2,790	2,091
Milz	1,960	1,922	1,453	2,828	2,077	1,120
Pankreas	5,650	5,861	6,468	7,889	2,380	3,691
Nieren	0,264	0,217	0,187	0,466	0,190	0,175
Skelett (Femur)	0,128	0,238	0,232	0,333	0,575	1,198

Hier stehen die Bauchorgane voran, doch darf mit Sicherheit angenommen werden — zum mindesten für Milz und Pankreas —, daß dabei die Adsorption von ^{153}Sm an der Organoberfläche eine wesentliche Rolle spielt, so daß die Werte nicht der tatsächlichen Aktivitätskonzentration im Organ entsprechen. Diese Annahme wird auch durch die Aktivitätsabnahme im Laufe der Beobachtungszeit unterstützt, die offenbar auf Resorptionsvorgängen beruht. Im ganzen gesehen, werden wie bei subkutaner Injektion Leber und Skelett als kritische Organe bestätigt. Die Ausscheidung innerhalb 24 h belief sich auf 1,04%, davon 0,89% im Kot, der Rest im Harn. Das Überwiegen der ^{153}Sm-Ausscheidung durch den Magen-Darmtrakt erklärt sich mit großer Wahrscheinlichkeit aus der hohen Speicherung in der Leber.

Eine ausführlicher Bericht ist nach Abschluß der Untersuchungen vorgesehen.

Den Damen Fräulein R. GÜRKE und Fräulein K. REGLING sind wir für technische Mithilfe sehr zu Dank verpflichtet.

Deutsche Akademie der Wissenschaften, Institut für Medizin und Biologie, Berlin-Buch (Präsident: Prof. Dr. Dr. h. c. W. FRIEDRICH), *Arbeitsbereich Angewandte Isotopenforschung (Leiter: Dr.* G. VORMUM)

ERNST SPODE und FRIEDRICH GENSICKE

Eingegangen am 29. August 1960

[1]) DURBIN, P.W., M.H. WILLIAMS, M. GEE, R.H. NEWMAN u. J.G. HAMILTON: Proc. Soc. Exp. Biol. Med. **91**, 78 (1956).

Zur Entropiebilanz der Zellvermehrung

Es läßt sich abschätzen, daß die „negative Entropie" der Sonnenstrahlung ausreicht, um die spontane Denaturierung der makromolekularen biologischen Substanz auszugleichen[1]). Ein solches stationäres Gleichgewicht besteht jedoch nur im zeitlichen Mittel. Die Entropiebilanz muß auch bei jeder konkreten Zellvermehrung gewahrt sein, bei der es sich um die Verdopplung biologisch geordneter Strukturen innerhalb der Generationsdauer handelt. Primär ist diese Bilanz für die pflanzliche Zelle aufzustellen, die ihren Stoffwechsel durch

Photosynthese aufrechterhält. Für die tierische Zelle löst sich dann das Problem durch direkte oder indirekte Verwertung der „negativen Entropie" der Pflanzenzelle im Sinne SCHRÖDINGERS[2]).

Zur Abschätzung des Ordnungsgewinns beim Aufbau einer Zelle sei von dem Modell einer kugelförmigen Zelle mit einem Radius $r = 2\,\mu$ ausgegangen, ihre Trockensubstanz betrage $T = 8 \cdot 10^{-12}$ g = 23% des Zellgewichtes; ihr DNS-Gehalt sei $1{,}8 \cdot 10^{-14}$ g, der RNS-Gehalt $1{,}2 \cdot 10^{-12}$ g[3]). Der negative Entropiegewinn dS beim Aufbau einer solchen Zelle sei im wesentlichen durch drei Teilbeträge beschrieben: den Betrag dS_e des elementaren Bruttoprozesses der Photosynthese $H_2O + CO_2 = CH_2O + O_2$, den Betrag dS_k durch Kondensation zu Makromolekeln $(CH_2O)_k$ und den Betrag dS_a, der in der artspezifischen Ordnung der Makromolekeln zum Ausdruck kommt, besonders in den Aminosäurensequenzen der Proteine und den Nukleotid-Sequenzen der Nukleinsäuren. Die in dieser Aufteilung liegenden Vernachlässigungen dürften die Größenordnung der Abschätzung kaum beeinflussen.

Für den ersten Anteil ergibt sich der Ansatz $dS_e = (S_A^0 - S_E^0) \cdot T/M$. In der Klammer steht die Differenz der Normalentropien pro Mol für obigen Bruttoprozeß der Photosynthese, die 10,5 cal/grad · mol beträgt[4]); T ist der obige Wert der Trockensubstanz, $M = 30$ das Molekulargewicht von CH_2O. Damit wird $dS_e = 2{,}8 \cdot 10^{-12}$ cal/grad · Zelle. — dS_k ergibt sich aus Theorie und Erfahrungen über Kristallisation bzw. Schmelzen in guter Näherung zu $dS_k = R \cdot T/M$[5]) (Gaskonstante $R = 2$ cal/grad · mol), also zu $0{,}53 \cdot 10^{-12}$ cal je grad · Zelle.

Die Boltzmann-Beziehung für die Entropie und ihre Annäherung durch die Stirlingsche Formel ergeben für den Anteil der artspezifischen Bausteinsequenzen an dem negativen Entropiegewinn:

$$dS_a = \sum_\nu k \cdot \ln N_\nu! / \prod_\mu n_\nu^\mu! = k \sum_\nu (N_\nu \ln N_n - \sum_\mu^m n_\nu^\mu \ln n_\nu^\mu).$$

Hierin bedeuten N_ν die Zahl der Bausteine der ν-ten Art von Makromolekeln, n_ν^μ die Zahl des μ-ten Bausteins in den Makromolekeln der ν-ten Art. Zunächst sei der einfache Spezialfall betrachtet, daß $n_\nu^\mu = N_\nu/m_\nu$, d.h., die ν-te Makromolekel baue sich aus m_ν verschiedenen Bausteinen auf, die alle die gleiche Häufigkeit haben. Dann wird

$$dS_a = k \sum_\nu N_\nu \ln m_\nu = R \sum_\nu (G_\nu/M_\nu) \ln m_\nu.$$

Hierin bedeutet G_ν die Gesamtmasse der ν-ten Makromolekel in der Zelle und M_ν das mittlere Molekulargewicht seiner Bausteine. Wird $m_\nu = 1$, d.h., besteht die Makromolekel aus identischen Bausteinen, so verschwindet der Anteil der artspezifischen Ordnung.

Setzt man für das mittlere Molekulargewicht der vier typischen Nukleotide 360 und das von 20 Aminosäuren 120, so ergibt sich folgende Tabelle für die Anteile dS_a^ν der artspezifischen Ordnung:

ν	Stoff	G_ν	M_ν	m_ν	dS_a^ν
1	DNS	$1{,}8 \cdot 10^{-14}$ g	360	4	$1{,}4 \cdot 10^{-16}$ cal/grad · Zelle
2	RNS	$1{,}2 \cdot 10^{-12}$ g	360	4	$0{,}9 \cdot 10^{-14}$ cal/grad · Zelle
3	Proteine	$6{,}8 \cdot 10^{-12}$ g	120	20	$0{,}37 \cdot 10^{-12}$ cal/grad · Zelle
				Summe	$dS_a = 0{,}38 \cdot 10^{-12}$ cal/grad · Zelle

Die Summe dS der gesamten Entropieänderung bei der Zellvermehrung beträgt demnach rund $4 \cdot 10^{-12}$ cal/grad · Zelle, wobei der Anteil dS_e deutlich überwiegt. Gegenüber Variationen von m_ν ist das Ergebnis weitgehend unempfindlich. Der Anteil der spezifischen Ordnung der Erbsubstanz DNS ist im Rahmen dieser Abschätzung offensichtlich zu vernachlässigen.

Bei der Unsicherheit des Wertes für dS_a sei die obere Grenze abgeschätzt, die sich ergibt, wenn man $dS_a = R\,T/M' \cdot \ln L \cdot T/M'$ setzt. Das bedeutet, die gesamte Trockensubstanz bestehe aus $L \cdot T/M'$ verschiedenen Bausteinen vom Molekulargewicht M'. Mit $M' = 102$ ergibt sich $dS_a \leqq 3{,}9 \times 10^{-12}$ cal/grad · Zelle, wodurch die Größenordnung der Gesamtabschätzung nicht geändert wird.

Im Fall der Photosynthese muß eine solche Entropiedifferenz durch die Sonnenstrahlung am Ort der Zelle innerhalb der Generationsdauer gedeckt werden. Wie in[1]) abgeschätzt, liefert die Sonnenstrahlung im globalen Mittel eine Größenordnung von 10^{-6} cal/grad · cm² · s. Bei einem Querschnitt der Zelle von etwa $10\,\mu^2 = 10^{-7}$ cm² und einer Generationsdauer von 10^4 sec bedeutet das 10^{-9} cal/grad · Zelle × Generation. Es genügt also eine effektive Absorption der Sonnenstrahlung von 1%, um die Größenordnung 10^{-11} cal/(grad · Zellverdopplung) zu decken.

Die mittlere Absorption[6]) einer Zelle mit einem Chlorophyllgehalt von 1% der Trockensubstanz[7]), [8]) ergibt sich zu 5%. Die Generationsdauer von Algen liegt — je nach den Bedingungen — bei 6 bis 12 Std (etwa 2 bis $4 \cdot 10^4$ sec)[8]), [9]). Demnach liegen die tatsächlichen Verhältnisse um etwa eine Zehnerpotenz günstiger, als es diese Abschätzung verlangt. Wie zu erwarten ergibt sich kein Widerspruch zum 2. Hauptsatz. Jedoch scheint die Generationsdauer pflanzlicher Zellen unter Umständen nicht allzuweit über dem Wert zu liegen, den der 2. Hauptsatz als Minimum fordert.

I. Physikalisches Institut der Freien Universität Berlin, Abteilung für Biophysik, Berlin-Dahlem

W. STEIN

Eingegangen am 5. September 1960

[1]) STEIN, W.: Naturwissenschaften **47**, 374 (1960). — [2]) SCHRÖDINGER, E.: Was ist Leben? München: Leo Lehnen 1951. — [3]) Diese Verhältnisse entsprechen einer haploiden Hefezelle. Vgl. LASKOWSKI, W., E.-R. LOCHMANN, A. WACKER u. W. STEIN: Z. Naturforsch. (im Druck). — [4]) Vgl. etwa NETTER, H.: Biologische Physikochemie, S. 202. Potsdam: Akad. Verl. Ges. Atheneion 1951. — [5]) Vgl. etwa EUCKEN, A.: Lehrbuch der chemischen Physik II, 2, S. 883. Leipzig: Akad. Verl. Ges. Becker & Erler. 1944. — [6]) Vgl. Biochemisches Taschenbuch (Hrsg. H.M. RAUEN), Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1956, wonach $\ln I_0/I \approx 7 \cdot 10^4 \cdot$ c/mol · l⁻¹ · d/cm. — [7]) Vgl. Physiologische Chemie, I, Die Stoffe (Hrsg. B. FLASCHENTRÄGER), S. 946. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1951. — [8]) WARBURG, O., G. KRIPPAHL u. W. SCHRÖDER: Naturwissenschaften **43**, 237, 408 (1956). — [9]) Vgl. MEFFERT, M.: Umschau **55**, 388 (1955).

Die Auflösung und Neubildung der Zellmembran bei der Konjugation von Paramecium

Bestimmte elektronenmikroskopische Befunde verdeutlichen, daß cytoplasmatische Membranen keine „dauerhaften" Strukturelemente darstellen, sondern vielmehr leicht ab- und aufgebaut werden können[1a]), [2a]). So fragmentiert die Kernmembran bei der mitotischen Teilung des Zellkernes in kleine vesiculäre Elemente und wird später durch Fusion derartiger kleiner Bläschen wieder aufgebaut[3]). Für die Bildung der Zellmembran pflanzlicher Zellen (Phragmoplast) ist dieser Modus *(Fusion kleiner Bläschen zu Membranen)* ebenfalls bekannt[4]). Es ist deshalb von Interesse, daß bei der Auflösung und Neubildung der Zellmembran während der Konjugation von Paramecium eine völlig andere Membranmorphogenese vorliegt.

Material: Als Untersuchungsobjekt diente *Paramecium aurelia* (Paarungstyp 7 und 8, Stamm 51 von T. M. SONNEBORN), für deren freundliche Überlassung ich Herrn Prof. Dr. V. SCHWARTZ (Tübingen) zu Dank verpflichtet bin. Die Konjuganten wurden während des 6 Std (bei 27° C) dauernden Konjugationsstadiums in Abständen von je 30 min fixiert, so daß durch Stufenuntersuchung ein lückenloses Bild des Konjugationsablaufes erzielt wurde.

Technik: Osmium-Chrom-Fixierung, Wolfram-Uran-Kontrastierung[1b]), Einbettung in Vestopal W[5]), Dünnschnitte mit LKB-Ultrotome 4800, Aufnahmen Elektronenmikroskop Siemens Typ ÜM 100d, 60 kV, Apertur 30 μ.

Bei der Konjugation von *Paramecium* legen sich bekanntlich zwei Zellen aneinander, um einen Austausch von Kernsubstanz in Form von Teilungskernen des Mikronucleus vorzunehmen. Dabei wird eine Cytoplasmabrücke angelegt, in deren Bereich die Zellmembranen der beiden Konjugationspartner abgebaut werden. In der Kontaktzone liegen die Zellmembranen der beiden Konjuganten (Fig. 1a, ZM 1 und ZM 2) in einem Abstand von etwa 300 Å einander gegenüber. Die Interzellularfugen sind mit sehr feinen, kontrastarmen Querstrukturen gefüllt. An der Auflösungsstelle der Zellmembranen findet man meistens (bei senkrechter Schnittführung) ein „bogenförmiges Verschmelzen" beider Zellmembranen (Doppelpfeilmarkierung). Dazwischen werden in der Auflösungszone (Pfeilmarkierungen) die Zellmembranen *zu fädigen Strukturelementen* abgebaut. Diese können von der das Grundcytoplasma bildenden fädigen Komponente[1a,c]), [2b]) (nach Vestopal-Einbettung) elektronenoptisch kaum unterschieden werden, sie liegen lediglich dichter und in einer „Vorzugsrichtung" in Verlängerung der noch erhaltenen Zellmembranen. Später, zur Zeit des Kernaustausches, kann

man jedoch in der Auflösungszone den ehemaligen Verlauf der Zellmembranen nicht mehr durch besondere morphologische Gegebenheiten feststellen.

Nach erfolgtem Kernaustausch müssen die aufgelösten Zellmembranen wieder neu gebildet werden, bevor sich die beiden Konjuganten voneinander trennen. Die Neubildung der Zellmembran geschieht offensichtlich in der umgekehrten Reihenfolge wie bei der Auflösung: *Fädige Elemente des Grundcytoplasmas verdichten sich* in der Interzellularbrücke parallel zu den erhalten gebliebenen Zellmembranen (Fig. 1b, Pfeilmarkierung), wobei in dieser Bildungszone jetzt zusätzlich tropfenförmige Verdichtungen auftreten, die auf Grund ihres elektronenoptischen Kontrastes vielleicht als lipoidhaltige Substanzen (Lipoide sind Bauelemente der Membranen!) gedeutet werden können.

Während bei der Umwandlung von Membranen in vesiculäre Elemente[3]) eine Fragmentation bzw. bei der Bildung von Membranen aus vesiculären Strukturen[4]) nur eine Verschmelzung membranöser Elemente vorliegt, handelt es sich beim Ab- bzw. Aufbau der Zellmembranen von Paramecium-konjuganten um eine echte *Transformation*, d.h. um einen *Umbau von Membranen zu fädigen Elementen und umgekehrt* [vgl. [1a]), [2a,c])].

Die ausführliche Veröffentlichung erscheint in der Zeitschrift Protoplasma (Wien). Die Untersuchungen wurden durch Sachbeihilfen der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* und des *Bundesministeriums für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft* ermöglicht. Dem Leiter des Zentrallaboratoriums für angewandte Übermikroskopie der Universität Bonn, Herrn Dozent Dr. K. E. Wohlfarth-Bottermann, bin ich für die Unterstützung meiner Arbeit, Fräulein U. Baas für technische Assistenz zu Dank verpflichtet.

Bonn, Zentrallaboratorium für angewandte Übermikroskopie am Zoologischen Institut der Universität

L. Schneider

Eingegangen am 30. Juli 1960

[1]) Wohlfarth-Bottermann, K. E.: a) Zool. Anz. **23** (Suppl.), 393 (1960); b) Naturwissenschaften **44**, 287 (1957); c) Protoplasma [Wien] **52**, 58 (1960). — [2]) Schneider, L.: a) 9. Tagg. Dtsch. Ges. f. Elektronenmikr., Freiburg 1959; b) Z. Zellforsch. **50**, 61 (1959); c) Protoplasma [Wien], im Druck. — [3]) Moses, M. J.: Verh. 4. Int. Kongr. f. Elektronenmikr. **2**, 230 (1960). — [4]) Porter, K. R., u. J. B. Caulfield: Verh. 4. Int. Kongr. f. Elektronenmikr. **2**, 503 (1960). — [5]) Ryter, A., u. E. Kellenberger: Verh. 4. Int. Kongr. f. Elektronenmikr. **2**, 52 (1960).

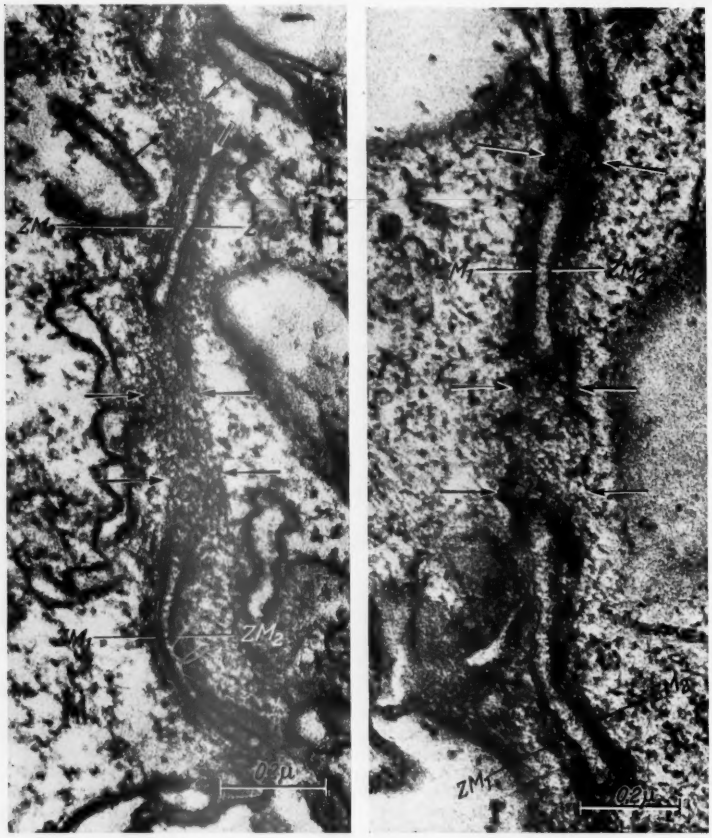


Fig. 1a Fig. 1b

Fig. 1a. Auflösung der Zellmembran (→ ←) in fädige Strukturelemente. ZM_1 Zellmembran des linken, ZM_2 Zellmembran des rechten Konjuganten, die (oben ⇑) „bogenförmig" verschmolzen sind. Elektronenoptisch 13900:1; Endvergrößerung 84000:1

Fig. 1b. Neubildung der Zellmembranen aus fädigen Strukturelementen (→ ←). ZM_1 Zellmembran des linken, ZM_2 Zellmembran des rechten Konjuganten. In der Bildungszone (→ ←) Verdichtungen, die vermutlich lipoidreiche Substanzen darstellen. Elektronenoptisch 14600:1; Endvergrößerung 80000:1

In Form von Ascites transplantierbare leukämische Lymphadenose bei Mäusen

An etwa 10000 genetisch nicht ganz geklärten semmelfarbigen Mäusen unseres Instituts (die von der C_3H-Linie abstammen) tritt bei 8 bis 12monatigen Tieren fast zu 10% lymphoide Leukämie auf. Die Zahl der weißen Blutkörperchen erhöht sich auf 30 bis 100000, und im Blutbild finden wir fast zu 100% Lymphozyten, darunter überwiegend junge Formen. Die Lymphknoten vergrößern sich, und auch die Milz und die Leber sind erheblich größer als normal. Wir versuchten, die Leukämie auf junge Tiere zu überimpfen, und zwar auf die Weise, daß wir die Milz des kranken Tieres mit phys. NaCl einrieben und in 1 bis 3 Wochen alte Tiere i.p. einspritzten. Nach mehreren erfolglosen Versuchen bildete sich in einem 7tägigen Neugeborenen in 3 Monaten Ascites, in dem wir Zellen lymphoiden Charakters fanden. Die Ascitesflüssigkeit impften wir fortlaufend weiter jungen (1- bis 3wöchigen) und später immer älteren (1- bis 3monatigen) Tieren i.p. ein. Die Geschwulst wurde immer virulenter, Tumoren entstanden an immer mehr Tieren, die Menge des Ascites wuchs, die Lebensdauer der Tiere dagegen wurde andauernd kürzer. Nach der 5. Passage war die Transplantation auch bei erwachsenen (3- bis 6monatigen) Tieren erfolgreich, und gegenwärtig (Juli 1960) geht die 23. Passage bereits 100%ig an. Wir impften auch andere Stämme (Swiss und sonstige Mäusestämme unsicheren Ursprungs) und erzielten auch hier ein nahezu 100%iges Angehen.

Dieser Ascitestumor wird durch folgendes gekennzeichnet: Nach i.p. Einführung von 2 bis 10 Millionen Zellen ist am 3. bis 4. Tag bereits ein Wachsen des Bauches zu sehen, das Körpergewicht nimmt zu, die Geschwulst wird schnell größer, im Endzustand erreichen die 20 bis 30 g schweren Mäuse ein Gewicht von 40 bis 60 g. Am 3. bis 4. Tag finden wir in der Bauchhöhle etwas zähe Flüssigkeit, später erscheinen die Geschwulstzellen sozusagen in Reinkultur. Am Bauchfell bildet sich anfangs ein feiner, schimmelartiger Belag, sodann entwickeln sich vom Ende der 1. Woche an den Organen und Gedärmen Knoten, die später eine flache, zusammenhängende Platte bilden. Nach einer Woche werden auch die entfernten Lymphknoten viel größer, in der 2. Woche finden wir in den Organen (Nieren, Leber, Lunge usw.), ja sogar in Haut und Muskeln Geschwulstknoten. Die Tiere verenden zwischen 13 bis 21 Tagen.

In dem aus der Ascites bereiteten Ausstrich finden wir überaus polymorphe Zellen, von denen wenige an die normalen Lymphozyten bzw. Plasmazellen erinnern. Die Zellen besitzen aber in ihrer überwiegenden Mehrzahl ein viel größeres, breites basophiles Protoplasma, der Kern ist exzentrisch und zeigt eine ziemlich dichte, aus feinen oder gröberen Klumpen bestehende Chromatingranulation. Im Kern sehen wir 1 bis 3 auffallend große Nucleoli. Sehr häufig ist die auseinanderfallende Form, ziemlich zahlreich sind die Mitosen, und sozusagen in jedem Gesichtsfeld sehen wir Zellen mit 2 bis 3 Kernen.

An der Stelle der s.c. Einspritzung der Ascitesflüssigkeit bildet sich ein solider Tumor, der ziemlich langsam wächst, in 2 bis 3 Monaten die Größe einer Nuß erreicht, sich häufig exulzeriert und auch zu spontaner Regression neigt. Nach i.v. Eingabe von 2 bis 3 Mill. Zellen bilden sich fast in allen Organen „Metastasen", die im allgemeinen das Tier in 21 Tagen töten.

Zur Bestimmung des Geschwulstcharakters haben wir alle Organe desjenigen Tieres aufgearbeitet, mit dessen Milz die Transplantation gelungen ist. Die Lymphknoten hatten sich vielfach vergrößert, ihre Struktur war verschwunden, ihre Stelle nimmt ein Geschwulstgewebe ein, das auch die Umgebung infiltriert. Der Tumor besteht aus ziemlich gleichen, den Lymphoblasten entsprechenden Zellen. Die Geschwulstzellen sind ziemlich polymorph. Häufig ist die mitotische und mehrkernige Form. Ähnlich große Zellen sehen wir auch in den Organen zum Teil einzeln in den Kapillaren, zum Teil in Form von größeren, zusammenhängenden Geschwulstknoten. Das Blutbild besteht zu 80 bis 90% aus großen Lymphozyten und Lymphoblasten. Im Knochenmark gibt es keine auffallendere Abweichung, hier fanden wir keine Geschwulstzellen.

Die peritoneale bzw. s.c. wachsende Geschwulst der transplantierten Tiere besteht aus lockeren Zellen, die in allen den in der Ascitesflüssigkeit auffindbaren Zellen bzw. den Zellen der Lymphknoten des ursprünglichen Donortieres gleichen. Das Bild ist überall sehr polymorph mit vielen mitotischen Formen, eine Bildung argyrophiler Fasern haben wir jedoch nirgends beobachtet. Die Veränderung ist überaus vielfältig, und deswegen ist die Aufstellung einer Diagnose nicht leicht. Unseres Erachtens handelt es sich eigentlich um ein unreifes Lymphosarkom, zu dem sich ein leukämisches Blutbild gesellt hat. Die Veränderung entspricht der lymphoblastischen Form der Sternbergschen Leukosarkomatosis. Das macht das überaus aggressive Verhalten der Geschwulst.

Die meisten chemotherapeutischen Mittel üben ihre Wirkung am ausgesprochensten auf die Haemoblastosen aus. Die Empfindlichkeit der Versuchs- und der menschlichen Leukosen läuft ziemlich parallel mit den meisten Chemotherapeutika. Die Ascitestumoren haben sich zur Untersuchung der Wirksamkeit neuer Stoffe sehr gut bewährt. Wir hielten es daher für notwendig, das Verhalten dieser Geschwulst gegenüber bekannten, an anderen Tumoren untersuchten und auch neuen Mitteln sorgfältig zu beobachten. Bisher haben wir annähernd 100 Stoffe untersucht. Unsere bisherigen Erfahrungen zeigen, daß dieser Tumor Chemotherapeutika, besonders Senfderivaten gegenüber überaus empfindlich ist. Wir glauben, daß er neben anderen Tumoren für Screening-Zwecke sehr gut zu gebrauchen sein wird. Die Biochemie des Tumors unterscheidet sich in vieler Beziehung von der des Ehrlichschen Ascitestumors, weswegen derartige vergleichende Untersuchungen mit dieser Geschwulst aussichtsreich erscheinen.

Versuche über die zellfreie Übertragung bzw. die virale Ätiologie sind noch im Gange.

Onkopathologisches Forschungsinstitut, Budapest

L. Németh*) und B. Kellner

Eingegangen am 16. Juli 1960

*) Adresse: Budapest, XII. Ráth György utca 5.

„Entkopplung" von Krebsglykolyse und anoxygener Energie(ATP)-bildung

In vorangehenden Arbeiten[1]) haben wir an Tallophyten (Saccharomycetaceae) und an Spermatophyten (Gramineensamen) nachgewiesen, daß sich die anoxygene Energie-, d.h. ATP-Bildung vom Gärungsprozeß „abkoppeln" läßt. Wenn nämlich unter streng anaeroben Versuchsbedingungen der Phosphatakzeptor ADP durch 2,4-Dinitrophenol (2,4-DNP) blockiert wird, kann keine Phosphorylierung von ADP zu ATP ($ADP + H_3PO_4 \rightleftharpoons ATP$) mehr stattfinden, was sich in markanter Weise dadurch zu erkennen gibt, daß vollständige Zytostase, d.h. Stagnation aller anoxysynthetischen Zellreaktionen eintritt. Saccharomyceten, die ein stark ausgeprägtes anaerobes Generierungsvermögen besitzen, hören unter 2,4-DNP-Einwirkung auf zu proliferieren und sind z.B. auch im P-Hungerzustand trotz stimulierten P-Bedürfnisses nicht dazu imstande, Phosphat über die Zellmembran in sich aufzunehmen, obwohl sie sich ohne Zusatz von 2,4-DNP damit übersättigen (phosphatische Überkompensation). Die Gärung setzt sich dagegen unter 2,4-DNP-Einwirkung mit unverminderter Intensität wie ohne Applikation von 2,4-DNP fort.

Der gleiche Effekt läßt sich bei Gramineensamen (Weizen, Roggen, Hirse usw.), die auch anaerob ankeimfähig sind[2]), durch Zusatz von 2,4-DNP zum Quellungswasser hervorrufen. Unter antimetabolitischem Einfluß stellen die Getreideembryonen ihre anaerobe Keimung gänzlich ein, während die Gärung unbeeinflußt mit voller Spaltkraft weiter vonstatten geht.

Es konnte also in Versuchen mit Tallo- und Spermatophyten von uns dargetan werden, daß sich Gärung und anoxygene Energie(ATP)bildung antimetabolitisch „entkoppeln" lassen, wobei der Energieprozeß total sistiert, die Gärung indessen in keiner Weise beeinträchtigt wird. Sie ist, unabhängig von „obligaten" Adenylsäurereaktionen, autonom voll funktionsfähig.

Tabelle. *Anaerobe Aufnahme von L-(+)-Aminosäuren durch Ehrlichsche Aszitestumorzellen (Maus) ohne und mit Zusatz von 2,4-DNP sowie nach Auswaschen des Antimetaboliten.*
Konzentration der Aminosäure M/45, von 2,4-DNP M/4000

Aminosäure	Substrat	Zell-Trs.	Amino-S./Std (%)*)			$Q_M^{N_2}$	
			ohne	mit	2,4-DNP ausgew.	ohne	mit
	ml	mg	2,4-DNP			2,4-DNP	
α-L-(+)-Alanin	30	450	30	0	28	45	48
L-(+)-Threonin	30	510	35	0	37	43	47

*) In 1 Std aufgenommene Aminosäure in %.

Was jedoch für die Gärung hinsichtlich ihrer Unabhängigkeit vom Adenylsäuresystem gilt, muß zwangsläufig auch für die *Glykolyse* zutreffen. Denn der dissimilatorische Abbauweg bis zur Brenztraubensäure, auf dem angeblich die anaerobe ATP-Bildung erfolgen soll, ist in beiden Fällen biochemisch der gleiche. Bei der großen Bedeutung jedoch, die der Glykolyse im Krebsgeschehen zukommt, konnte die endgültige Entscheidung darüber, ob sich die beiden anaeroben Stoffwechselprozesse (Gärung, Glykolyse) unter Einwirkung von 2,4-DNP tatsächlich gleichartig verhalten, nur auf experimentellem Wege herbeigeführt werden.

Wir knüpften bei unseren Versuchen zur 2,4-DNP-Testung der Krebsglykolyse an Arbeiten von E. Negelein[3]) sowie von G. A. Le Page[4]) an. Beide Autoren hatten übereinstimmend festgestellt, daß L-(+)-Aminosäuren anaerob in gleichem Maße wie aerob von Tumorschnitten bzw. Einzelzellen des Ehrlichschen Mäuseasziteskarzinoms aufgenommen werden. Die anaerobe Permeation findet nur im zuckerhaltigen Medium statt, ist also mit der Zuckerspaltung gekoppelt, woraus Negelein schließt, daß durch die Glykolyse die Energie für den aktiven Aminosäure-Transport bereitgestellt wird.

In Vergleichsansätzen mit und ohne Zusatz von 2,4-DNP konnten wir an Ehrlichschen Asziteskarzinomzellen den Nachweis liefern (s. Tabelle), daß die anaerobe Aminosäure-Aufnahme als energiegebundener Prozeß durch 2,4-DNP total gehemmt wird, während die Glykolyse dabei in vollem Umfang aufrechterhalten bleibt. Nach Auswaschen des Antimetaboliten sind die Asziteszellen wieder fähig, Aminosäuren wie im unbehandelten Zustand aufzunehmen.

Damit ist auf experimentellem Wege gezeigt, daß sich die Glykolyse in gleicher Weise wie die Gärung von der anoxygenen Energie(ATP)bildung „abkoppeln" läßt, ohne in ihrer Spaltkraft auch nur im geringsten abgeschwächt zu werden. Die Funktion von Gärung und Glykolyse ist also demnach — entgegen der Dissimilationstheorie von Embden-Meyerhof-Parnas — *nicht* obligat an das Adenylsäuresystem, d.h. an ATP-liefernde Reaktionen gebunden.

Weiterhin leitet sich aber aus obigen Feststellungen ab, daß 2,4-DNP nicht nur den oxygenen Energieprozeß, wie bisher allgemein angenommen, sondern auch den anoxygenen paralysiert. In Übereinstimmung hiermit gelingt es[5]), dem intraperitonealen Test zufolge, hochvirulente Aszitestumorzellen

durch Behandlung mit 2,4-DNP vollständig zu inaktivieren, so daß sie ihre Infektiosität gänzlich einbüßen und dadurch ihre Eigenschaft als Krebszellen verlieren, obwohl sie im malignen Ausmaß weiter glykolysieren. Sie sind aber durch das Zytostatikum nicht abgetötet, sondern nur funktionsgehemmt. Nach Auswaschen des Antimetaboliten sind sie wieder voll reaktionsfähig und entfalten wie vordem ihre unabgeschwächte Virulenz.

Methodische Angaben und ausführlichere Versuchsbelege bringen wir in Hoppe-Seylers Zeitschrift für physiologische Chemie. Eine zusammenfassende Arbeit über den anoxygenen Energiestoffwechsel der Krebszelle soll in der Zeitschrift für Krebsforschung veröffentlicht werden.

Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Institut für Medizin und Biologie (Präsident: Prof. Dr. W. Friedrich), *Bereich Krebsforschung/Zellphysiologie (Direktor: Prof. Dr.* F. Windisch), *Berlin-Buch*

F. Windisch, H. Kerner, W. Heumann, S. Künkel und K. Lezius

Eingegangen am 2. September 1960

[1]) Windisch, F., W. Heumann u. H. Roick: Ber. dtsch. Akad. Wiss. Berlin **2**, 223 (1960). — Windisch, F., u. W. Nordheim: Naturwissenschaften **47**, 449 (1960). — Windisch, F., W. Heumann, H. Roick u. K. Schubarth: Z. Naturforsch. (im Druck). — [2]) Steinitz, L.M.: Amer. J. Bot. **30**, 622 (1943). — [3]) Negelein, E.: Biochem. Z. **323**, 214 (1952). — [4]) Le Page, G.A.: Cancer Res. **13**, 178 (1953). — [5]) Windisch, F., W. Heumann u. H. Kerner: Z. inn. Med. **12**, 89 (1957).

Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Virogenese von Bergoldiavirus calypta Steinhaus

Neuere lichtmikroskopische Untersuchungen über die Granulose (Kapselvirose) von *Choristoneura murinana* (HBN.) liegen von Wittig[1]) und Huger[2]) vor, die beide im Gegensatz zu Bergold[3]), Bird[4]) u. a. eine sehr auffällige virusbedingte Kernaffektion demonstrieren. Während Wittig fand, daß sich die für virusinfizierte Zellen des Fettkörpers und der Epidermis typischen Faden- oder Netzwerke feulgennegativ verhalten, stellte Huger eine deutlich feulgenpositive Reaktion dieser Strukturen fest, die im Laufe der Krankheit abnimmt. Er schloß daraus auf eine Beteiligung des Fadenwerkes an der Virogenese und betrachtete es als virogenetisches Stroma. Die weitere Untersuchung dieser Zusammenhänge wurde elektronenmikroskopisch fortgesetzt.

Methodik. Aus viruskranken Raupen von *C. murinana* von Krieg isolierte und gereinigte Viruskapseln dienten Wittig zu Infektionsversuchen an Raupen des gleichen Wirtes. Zu bestimmten Zeiten (3 bis 25 Tage) post infectionem wurden von Wittig Anteile des Fettkörpers zur vorliegenden EM-Untersuchung fixiert und konserviert. — *Fixierung*: 2% OsO_4-Lösung mit Veronalpuffer p_H 7,2 nach Heitz. Konservierung in 80% Äthanol. Nachkontrastiert mit 0,5% Uranylacetat und 1% Phosphorwolframsäure in 70% Äthanol. Einbettung in Methacrylat; Ultradünnschnitte bis 500 Å (Ultramikrotom Leitz nach Fernández-Morán); Elektronenmikroskop Siemens ÜM 100 e_2 (80 kV). — *Ergebnisse*: Wie EM-Aufnahmen zeigen, treten in virusinfizierten Zellen die ersten pathogenetischen Veränderungen am Zellkern auf (Fig. 1). Dieser hypertrophiert stark und entwickelt ein System von Strängen (*S*), das mit dem im Lichtmikroskop darstellbaren und nach Huger feulgenpositiv reagierenden Faden- oder Netzwerk identisch ist. Bei dessen zentrifugalem Vordringen in den Zellraum werden in seine Matrix Mitochondrien eingebettet und Fettvakuolen (*F*) umflossen. Die Matrix der Stränge besteht weitgehend aus stark verdichteten Zytomembranen, in die im Gegensatz zu normalem Ergastoplasma DNS eingelagert ist. Es handelt sich hierbei offenbar um bereits zu Virus-DNS transformiertes Euchromatin der Wirtszelle. Die als virogenetisches Stroma anzusprechenden Stränge zerfallen im weiteren Verlauf der Pathogenese unter Bildung von Virusstäbchen und sphärischen Partikeln (Fig. 2). Da letztere im Zusammenhang mit der Bildung von Kapseln verschwinden, werden sie mit der Synthese des Kapselproteins in Verbindung gebracht. Beobachtungen zeigen, daß die Virusstäbchen erst sekundär, mitunter von einem Pol her beginnend, vom Kapselprotein umhüllt werden. In infizierten Zellen ist in der Endphase der Krankheit (Fig. 2) der gesamte Zellraum weitgehend mit Massen von Kapseln (*K*) angefüllt, die je ein Virusstäbchen enthalten. Außerdem sind noch Reste des Netzwerkes und in Fettkörperzellen peripher auch Fettvakuolen (*F*) vorhanden. Als normal anzusprechende Kerne ließen sich im Gegensatz zu den Befunden von Bird in den befallenen Zellen nicht mehr nachweisen.

Die Frage nach dem Ort der Virogenese kann nach den licht- und elektronenmikroskopischen Befunden übereinstimmend dahingehend beantwortet werden, daß die Virusstäbchen in Anlehnung an das DNS-haltige karyogene Fadenwerk entstehen und nicht, wie es Bergold[3]) und Bird[4]) beschrieben, unabhängig vom Kern im Zytoplasma. Das von beiden Autoren beobachtete Auftreten von Viruskapseln im Zytoplasma ohne Kernaffektion könnte speziell in Blutzellen durchaus auf Phagozytose beruhen.

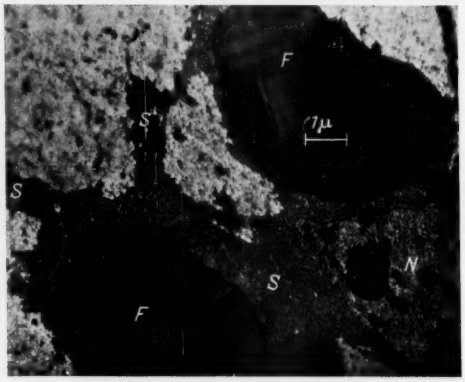


Fig. 1. Frühes Stadium (8 Tage p.i.) der Granulose von *Choristoneura murinana* (HBN.). Bildung des Netzwerkes. EM., Abb.-M. 6480:1. *N* Nucleus; *S* Stränge (= virogenet. Stroma); *F* Fettvakuolen

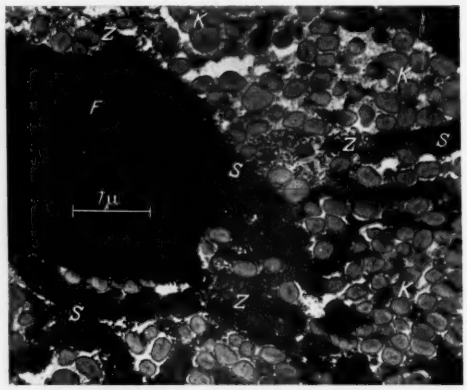


Fig. 2. Spätes Stadium (19 Tage p.i.) der Granulose von *Choristoneura murinana* (HBN.). Zerfall des Netzwerkes, Bildung der Kapseln. EM., Abb.-M. 12150:1. *S* Stränge (= virogenet. Stroma); *Z* Zerfallsstellen des Stromas; *K* Viruskapseln; *F* Fettvakuolen

Nach unseren Untersuchungen besteht auch kein Grund mehr, die Kapselvirose von *C. murinana* als „zytoplasmatische Granulose" von „Kerngranulosen" taxonomisch abzutrennen, wie dies Weiser[5]) vorgeschlagen hat. — Eine ausführliche Beschreibung erscheint 1961 im Journal of Insect Pathology.

Die EM-Aufnahmen wurden durch das freundliche Entgegenkommen von Herrn Professor Dr. U. Hofman, Technische Hochschule, Darmstadt, ermöglicht.

Durchgeführt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für biologische Schädlingsbekämpfung, Darmstadt.

Alois Huger und Aloysius Krieg

Eingegangen am 13. August 1960

[1]) Wittig, G.: Arch. ges. Virusforsch. **9**, 365 (1959). — [2]) Huger, A.: Naturwissenschaften **47**, 358 (1960). — [3]) Bergold, G.: Z. Naturforsch. **3b**, 338 (1948). — [4]) Bird, F.T.: Canad. J. Microbiol. **4**, 267 (1958). — [5]) Weiser, J.: Čes. Parasitol. **5**, 203 (1958).

Zur Reinfektion steriler *Sitodrepa*-Larven mit den eigenen Symbionten sowie mit denen von *Ernobius mollis*

PANT und FRAENKEL[1]) waren die ersten, denen es gelang, zwei Anobiidensymbionten gegeneinander auszutauschen. Sie sterilisierten Eier von *Sitodrepa panicea* L. und *Lasioderma serricorne* F. durch Baden in einer Lösung von 5% Chloramin in 70% Alkohol. Da die Übertragung der Symbionten durch Beschmieren der Eioberfläche erfolgt, konnten auf diese Weise sterile Larven und Imagines erzielt werden. Es gelang den genannten Autoren, sterile Eier mit Kulturen der Symbionten beider Arten zu infizieren sowie einen Austausch der Symbionten zu erzielen.

In Abänderung der Methodik von PANT und FRAENKEL wurden sterile, schlüpfende Eier von *Sitodrepa panicea* in Suspensionen der eigenen Symbionten oder der von *Ernobius mollis* L. getaucht. Die Larven sowie die daraus resultierenden Imagines erwiesen sich in beiden Fällen als infiziert. Da die Symbionten eine charakteristische Gestalt aufweisen (der *Sitodrepa*-Symbiont ist tropfenförmig, der von *Ernobius mollis* oval), und da diese Gestalt auch im fremden Mycetom erhalten bleibt, ist ein Irrtum ausgeschlossen. Damit ist erwiesen, daß *Sitodrepa panicea* in der Lage ist, die Hefe aus *Ernobius mollis* an Stelle ihres eigenen Symbionten aufzunehmen. Die gleichen Ergebnisse wurden an sterilen, halbwüchsigen Larven erzielt.

Von besonderem Interesse ist die Tatsache, daß in beiden Fällen die Mycetome sowohl der Larven als auch der Imagines ungleichmäßig entwickelt und nur unvollständig infiziert waren. Bei einigen Tieren fanden sich nur 3 bis 4 infizierte Mycetocyten, während im günstigsten Falle etwa $^1/_3$ der Zellen besiedelt war. Diese Erscheinung ist wohl so zu erklären, daß die Symbionten nur vom Darmlumen aus in die Mycetocyten eindringen können, den Übergang von Zelle zu Zelle jedoch nicht schaffen. Somit muß eine gewisse Mindestmenge von Hefezellen aufgenommen werden, um eine vollständige Infektion der Mycetome zu garantieren. Weitere Untersuchungen zu dieser Frage sind im Gange.

Mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Botanisches Institut der Technischen Hochschule, Karlsruhe

H. KÜHLWEIN und G. JURZITZA

Eingegangen am 10. September 1960

[1]) PANT, N.C., u. G. FRAENKEL: Biol. Bull. **107**, 420 (1954).

Überwindung der Selbstinkompatibilität durch Röntgenbestrahlung des Griffels

Die Selbstinkompatibilitätsreaktion bei *Petunia* äußert sich durch eine Hemmung des Pollenschlauchwachstums im Griffelleitgewebe etwa auf halbem Wege vor Erreichen der Samenanlagen[1]),[2]). Die meisten experimentellen Befunde lassen sich durch die Annahme einer Immunitätsreaktion zwischen Pollenschlauch und Leitgewebszellen erklären[3]). Durch Bestrahlung des Pollens läßt sich die Inkompatibilität überwinden; die Fertilität kommt durch Mutation des S-Allels zustande. Bestrahlt man unbestäubte, reife Griffel von *Petunia* mit Röntgenstrahlen (Philips „Contact" 50 kV, 2 mA, 0,5 mm Alu-Filter, Focusabstand 40 mm) und bestäubt unmittelbar im Anschluß an die Bestrahlung mit eigenem Pollen, so läßt sich ein tieferes Eindringen der Masse der Pollenschläuche beobachten [Messung nach Fluorochromierung[4])]. Darüber hinaus kommt es in Abhängigkeit von der Strahlendosis zur normalen Frucht- und Samenbildung (Fig. 1 stellt einen Auszug aus dem Versuchsmaterial dar). Da die Fruchtknoten abgeschirmt und daher unbestrahlt blieben, sind die Pflanzen, welche aus den Samen nach Selbstbefruchtung hervorgehen, alle normal.

Unter dem Einfluß der ionisierenden Strahlen ist die Selbstinkompatibilitätsreaktion weitgehend zusammengebrochen. Aus den bisherigen Versuchen geht hervor, daß das „Optimum" bei 2000 r liegt: von fast der Hälfte der bestrahlten Blüten konnten reife Samen geerntet werden. Werden die Griffel jedoch 20 Std *vor* der Bestrahlung selbstbestäubt, so kommt es nicht zum Weiterwachsen der einmal gehemmten Pollenschläche. Daraus ist zu schließen, daß die Hemmreaktion irreversibel ist. Erfolgt die Bestäubung jedoch erst 24 Std *nach* dem Ende der Bestrahlung, so wachsen die Pollenschläuche zwar näher zu den Samenanlagen hin, erreichen diese aber nicht zur erfolgreichen Befruchtung. Daraus kann der Schluß gezogen werden, daß das reagierende System durch die Ionisation zwar gestört wurde, sich in gewissem Umfange aber restituieren kann. Die Überwindung der Selbstinkompatibilität nach Röntgenbestrahlung des Griffels muß auf einer biochemischen Änderung des zellulären Immunitätsmechanismus beruhen und ist nicht mit einer mutagenen Bestrahlung zu vergleichen.

Eine ausführliche Mitteilung wird vorbereitet. Die Bestrahlungen wurden im Radiologischen Institut der Universität Nijmegen durchgeführt; wir danken Herrn Dr. PENN für seine Mitwirkung. Mit Unterstützung der „Niederländischen Organisation für rein-wissenschaftliche Forschung (ZWO)".

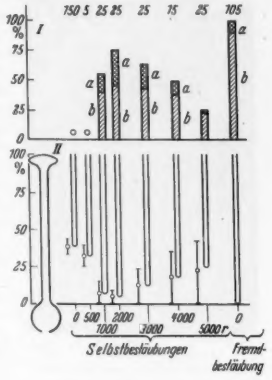


Fig. 1. Pollenschlauchwachstum und Samenbildung von *Petunia hybrida media vulgaris* (Klon W 166 K, Selbststerilitätsallele $S_1 S_3$) nach Bestrahlung des Griffels mit verschieden hohen Röntgenstrahldosen. Die Zahlen am oberen Bildrand bezeichnen die Anzahl der untersuchten Griffel. — Oben (I): Durchwachsen bis zur Samenanlage (*a* doppelt schraffiert) und Samenbildung (*b* einfach schraffiert), jeweils in %. — Unten (II): Pollenschlauchwachstum. Die unten stehenden Zahlen geben die Bestrahlung (in r) an. Darüber die mittlere Weglänge, bezogen auf die Griffellänge, und der Streubereich

Botanisches Laboratorium der Universität, Nijmegen (Holland)

H. F. LINSKENS, J.A.M. SCHRAUWEN und M. VAN DEN DONK

Eingegangen am 30. August 1960

[1]) STRAUB, J.: Z. Naturforsch. **1**, 287 (1946). — [2]) LINSKENS, H.F.: Z. Bot. **43**, 1 (1955). — [3]) LINSKENS, H.F.: Ber. dtsch. bot. Ges. **72**, 84 (1959). — [4]) LINSKENS, H.F., u. KL. ESSER: Naturwissenschaften **44**, 16 (1957).

Die kontrollierbare Aufzucht der Reblaus auf Gewebekulturen von Reben

Die Aufklärung der wechselseitigen Beziehungen zwischen pflanzensaugenden Insekten und ihren Wirten bereitet erhebliche Schwierigkeiten, solange sich der Parasit nicht weitgehend aus seiner natürlichen Umgebung herauslösen läßt. Die Reblaus (*Dactylosphaera vitifolii* SHIMER) konnte bisher über längere Zeiträume nur an ganzen Rebenpflanzen gezüchtet werden. Die Haltung an abgeschnittenen Pflanzenteilen oder isolierten Rebensämlingen eignet sich nur für kurzfristige Untersuchungen[1]), [2]). Übereinstimmend mit den Erfahrungen bei anderen pflanzensaugenden Insekten[3]) gelang es uns bisher nicht, die Reblaus mit einer künstlich zusammengestellten Diät dauernd zu ernähren.

Mit der Entwicklung von Kulturmethoden[4]) für pflanzliche Gewebe bieten sich nun neue Möglichkeiten an, auch obligate Parasiten zu kultivieren. Die parasitischen Pilze *Plasmopara viticola* und *Uncinula necator* sind bereits auf Gewebekulturen der Rebe gezüchtet worden[5]). In ähnlicher Weise wurde versucht, Nematoden auf Gewebekulturen zu halten[6]). Kürzlich wurde bei der Kultur von Reblausgallengewebe beobachtet, daß sich einzelne Reblauseier, die den Sterilisationsvorgang überlebt hatten, auf den Gewebekulturen zu Larven weiterentwickelten; durch künstliche Infektion von Kallusgewebe wurde eine Anzahl von Reblauskolonien erhalten, die mehrere Monate lang vermehrt werden konnten[7]). Unabhängig davon war im vergangenen Jahr im Rahmen eigener Arbeiten über die Resistenz von Reben versucht worden, Gewebekulturen als Medium zur Züchtung von Rebläusen „in vitro" zu verwenden. Da die Methode viele Anwendungsmöglichkeiten haben dürfte, soll sie hier näher dargestellt werden.

Aus Blattgallen gewonnene schlüpfreife Reblauseier wurden auf sterile Filtrierpapierstreifen übertragen und diese in Reagenzgläser eingeführt, welche Gewebestückchen von 1 bis 2 cm Durchmesser enthielten. Sobald genügend Larven ge-

schlüpft waren, wurden die Papierstreifen wieder entfernt. Auf diese Weise war es möglich, jeden Kallus mit einer gewünschten Anzahl von Junglarven zu beschicken, deren Alter bekannt war. Die Gewebekulturen der Rebe wurden nach der von MOREL[5]) angegebenen Methode auf einem synthetischen Medium unter Verwendung von α-Naphthylessigsäure als Wuchsstoff angelegt[8]). Damit die ausgeschlüpften Jungläuse auf dem feuchten Agarmedium nicht zugrunde gehen, hat es sich bewährt, den nicht vom Gewebestück bedeckten Teil der Agaroberfläche durch Überschichten mit flüssigem Paraffin (F = 55°) abzuschirmen. Die Rebläuse saugen an den Wurzeln, die von den Gewebestückchen gebildet werden oder am unorganisierten Kallusgewebe (Fig. 1). So kann direkt gezeigt werden, daß die Reblaus zu ihrer Ernährung kein Leitbündelgewebe benötigt, sondern auch im undifferenzierten Gewebe saugen kann (Fig. 2) [vgl. dagegen [9])]. Kontinuierliche Kulturen der Reblaus wurden bisher noch nicht erhalten, da das Problem der Desinfektion der Eier noch nicht befriedigend gelöst werden konnte, so daß die Kulturen nach einiger Zeit — es konnten bis zu drei Generationen gezüchtet werden — infolge zunehmender Schimmelbildung verdarben. Die für die Abtötung der Schimmelsporen notwendigen Konzentrationen von Alkohol, Formaldehyd, H_2O_2, Salicylsäure, Chloramin, Oxychinolin sowie kolloidalem Silber schädigten auch die Reblauseier. Ein Zusatz der Pilzhemmstoffe Actidion und Sorbinsäure zum Kulturmedium der Gewebestückchen beeinträchtigte andererseits das Kalluswachstum. Die geschilderte Methode läßt sich jedoch schon jetzt anwenden, da sich Schimmelpilze auf dem intakten Gewebe gewöhnlich nur langsam entwickeln und das Nährmedium durch die Paraffinabdeckung vor Infektion geschützt ist.

Fig. 1. Wurzelrebläuse verschiedenen Alters und Wurzel-Lauseier an unorganisiertem Kallus

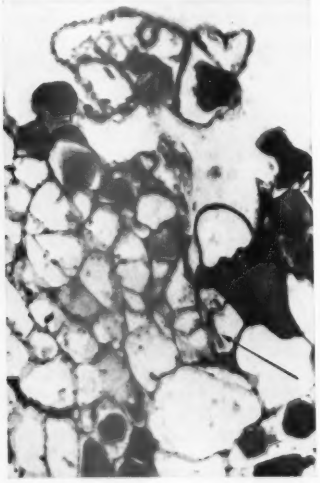


Fig. 2. Schnitt durch einen Kallus mit daran saugender Reblauslarve. Der Pfeil zeigt auf die Speichelscheide, welche die Stechborsten einschließt

Durch Züchtung auf Gewebekulturen können Rebläuse — auch bestimmte Einzeltiere — während sämtlicher Entwicklungsphasen beobachtet werden, und durch Variieren der experimentellen Bedingungen kann der Entwicklungszyklus beeinflußt und einer besseren Deutung näher gebracht werden. Hierüber und über das Verhalten der Reblaus auf den verschiedenen Rebensorten soll anderweitig berichtet werden.

Bundesforschungsanstalt für Rebenzüchtung Geilweilerhof, Siebeldingen über Landau/Pfalz

G. RILLING und F. RADLER

Eingegangen am 9. August 1960

[1]) GRASSI, B.: Contributo alla conoscenza delle fillosserine ed in particolare della fillossera della vite. Rom 1912. — [2]) CLEVER, U.: Vitis 2, 8 (1959). — [3]) SCHMITT, H.B.: Biol. Zbl. 78, 889 (1959). — [4]) GAUTHERET, R.J.: La culture des tissus végétaux. Paris 1959. — [5]) MOREL, G.: Ann. Epiphyt., N.S. 14, 123 (1948). — [6]) DARLING, H., M. FAULKNER u. P. WALLENDAL: Phytopathology 47, 7 (1957). — [7]) PELET, F., A.C. HILDEBRANDT, A.J. RIKER u. F. SKOOK: Amer. J. Bot. 47, 186 (1960). — [8]) HELLER, R.: Ann. Sci. natur., Bot. Biol. végétale 14, 1 (1953). — [9]) KENNEDY, J.S., u. T.E. MITTLER: Nature [London] 171, 528 (1953). — MITTLER, T.E.: J. Exp. Biol. 34, 334 (1957).

Echoorientierung bei *Mixodiaptomus laciniatus*

Setzt man frisch gefangenes Süßwasserplankton in ein Labyrinth aus klarem Plexiglas, so werden die Hindernisse von Cladoceren erst bei direkter Berührung wahrgenommen. Schwimmt dagegen *Mixodiaptomus laciniatus* gleitend auf eine der durchsichtigen Wände zu, so hält er etwa 1 mm, d.h. $^1/_3$ bis $^1/_2$ seiner Körperlänge, für den Bruchteil einer Sekunde davor an. Er kann sich daraufhin rückwärts bewegen[1]) und wieder vorwärts schwimmen, so als tastete er die Labyrinthwand ab. Dieses Verhalten gehört jedoch zu den Ausnahmen. In den weitaus meisten Fällen folgt ein kurzer Sprung, rechtwinklig zur ursprünglichen Schwimmrichtung oder auch schräg zurück. Ganz selten springen die Tiere auf das Hindernis selbst zu. Im Sprung können sie sich leicht um ihre Längsachse drehen und über eine Seite abgleiten. Steht dem ausweichenden Sprung ein Hindernis im Weg, stößt das Tier daran. Da die Sprünge im Labyrinth relativ kurz sind, vermag es sich danach noch in gleitender Weise selbst durch die engen Gassen zu steuern, ohne ihre Begrenzung direkt zu berühren. Vor Durchbohrungen der Plexiglaswände von 3 bis 5 mm ⌀ wird zuweilen zurückgeschreckt, obgleich die Schwimmbahn eigentlich frei wäre.

Von den über 300 geprüften Wendemanövern glückten 75 bis 90%, je nach der Eigenart der gefangenen Population. Man beobachtet außerdem individuelle Eigenheiten: An die Hindernisse stoßen relativ häufig unter anderem die Tiere, die sich auf phototropotaktischem Kurs bewegen und die etwas kleineren und rascher schwimmenden ♂♂. Vor den Hindernissen weichen die Tiere am ehesten aus, die in beliebiger Richtung ruhig ihre Bahn ziehen und die mit Eiballen beladenen, langsamer schwimmenden ♀♀

Die Schwimmbahnen im Labyrinth sind freilich nicht ausgeglichen und haben eckige Formen; die Orientierungsweise dürfte daher nach Versuch und Irrtum (phobotaktisch) vor sich gehen.

In einem ähnlichen Labyrinth, dessen Wände nicht aus Plexiglas, sondern aus einem wärme- und schallisolierenden Material (Handelsbezeichnung „Styropor", BASF) bestehen, liegen die Verhältnisse anders. Das verwendete Material ist porös, von rauher Oberfläche und weißer Farbe, also nicht durchsichtig. Es wurden bei 30 Tieren 275 Fälle beobachtet, in denen *Mixodiaptomus laciniatus* auf eines der Hindernisse zuschwamm, jedoch nur 93mal (= 33,7%) bog er dicht davor ab, ohne sichtbar anzustoßen. In den überwiegenden Fällen führte die Begegnung zur Kollision. Unter den geglückten Wendemanövern mögen sich noch einige mit geringer Berührung finden, da erst bei sehr viel geringerer, mit bloßem Auge schwer abzuschätzender Entfernung vom Hindernis abgebogen wurde als im Labyrinth aus Plexiglas. Vermutlich würde die Zahl der Kollisionen außerdem noch steigen, wenn man die Styropor-Wände von der an ihren rauhen Oberflächen haftenden Luft befreien könnte, denn von größeren eingeschlossenen Lufträumen wird ebenfalls zurückgeschreckt.

Die im ganzen kürzeren Sprünge vor den Styropor-Wänden sind zu ihnen parallel bis gar schräg auf sie zu gerichtet und nicht parallel bis schräg zurück wie im Plexiglas-Labyrinth. Die Tiere scheinen die Lage des rauhen Hindernisses also nicht so gut wahrzunehmen wie die mit kompakter Struktur und glatter Oberfläche. Dafür spricht auch, daß die Köpfe der Nadeln, mit denen die Styropor-Wände zusammengehalten werden, sehr viel deutlichere Schreckreaktionen mit weiten Sprüngen auslösen.

Der orientierende Reiz, der *Mixodiaptomus laciniatus* vor einem Hindernis warnt bzw. ihn nach seinem Ausbleiben an-

rennen läßt, dürfte wohl das eigene Schwimm„geräusch" sein. Die optische Orientierung scheint kaum eine Rolle zu spielen, denn sonst hätten sich die Tiere im Styropor-Labyrinth bei den dort herrschenden relativ großen Helligkeitsunterschieden besser als zwischen den Plexiglaswänden zurechtfinden müssen. Außerdem würden sie vor Passagen mit 0,5 cm auseinanderliegender Begrenzung nicht zurückschrecken.

Bekanntlich kommt durch das rasche Schlagen der zweiten Antennen und Mundgliedmaßen[2]) die gleitende Bewegungsweise der Diaptomiden zustande. Bei ihrer rhythmischen Tätigkeit entstehen mechanische Wellen im umgebenden Wasser, die nach den geschilderten Beobachtungen an glatten Flächen reflektiert und sehr wahrscheinlich vom aussendenden Tier zur Orientierung wieder verwendet werden. Nur so ist das Abdrehen vor den durchsichtigen Hindernissen erklärbar. Umgekehrt werden sie von dem porösen Material zum Teil verschluckt, und ihr schwaches Echo, das zudem noch stärker gestreut ist, wird erst kurz vor dem Hindernis oder überhaupt nicht mehr wahrgenommen.

Über mögliche Empfangsorgane wissen wir nichts Sicheres und können nur aus dem Verhalten des Tieres Vermutungen anstellen: *Mixodiaptomus* stößt mit großer Wahrscheinlichkeit auf ein Hindernis aus Styropor, wenn er senkrecht darauf zuschwimmt. Begegnet er ihm jedoch im spitzen Winkel und nähert sich ihm zuerst mit dem Ende einer seiner ersten Antennen bis auf einen geringen Abstand, der aber noch als solcher erkennbar ist, folgt ein gerichteter Sprung meist wieder spitzwinklig vom Hindernis weg. Je spitzer der Winkel zur Hinderniswand ist, desto besser vermag das Tier, sie wahrzunehmen und die direkte Berührung zu vermeiden, und desto sicherer führen die Ausweichsprünge vom Hindernis weg. An den Enden der ersten Antennen befinden sich einige Fiederborsten, die auf Grund ihres Baus geeignet sind, auf jede im umgebenden Wasser befindliche Schwingung anzusprechen.

Hydrobiologische Station, Falkau i. Schwarzwald

ROLAND SCHRÖDER

Eingegangen am 8. August 1960

[1]) SCHRÖDER, R.: Arch. Hydrobiologie 25, Falkau-Schriften IV, 1 (1959). — [2]) STORCH, O., u. O. PFISTERER: Z. vergl. Physiol. 3, 330 (1925).

Zur Herkunft primärer Flügeltracheen nach dem Ausfall des lateralen Tracheenbogens bei dem Eichenseidenspinner Antheraea pernyi Guér

Der laterale Tracheenbogen der Lepidopteren besteht aus zwei an den Beintracheen (Vtra und Vtrp) der Flügelsegmente ansetzenden Tracheenstämmen (Trba und Trbp), die hinter der Flügelimaginalscheibe zusammengeschlossen sind (Fig. 1a). Der mittlere Abschnitt des Tracheenbogens (zwischen S_1 und S_2) entsendet im letzten Raupenstadium ein erstes Flügeltracheensystem (Fltr)[1]),[2]). Nach zahlreichen, an den Stellen S_1 und S_2 (Fig. 1a) durchgeführten Sektionen des Tracheenbogens, dessen mittlerer Abschnitt hinter der Flügelimaginalscheibe exstirpiert bzw. in isoliertem Zustand in der Leibeshöhle belassen worden war, manifestierten sich bei den Raupen des Eichenseidenspinners unterschiedliche Etappen seines Ausfalls. In einigen Fällen überdauerte das isolierte Mittelstück des Tracheenbogens in der Leibeshöhle und tracheisierte das präsumptive Flügelblatt (Flb), während die beiden Flügeltracheenstämme degenerierten; degenerierte jedoch das Mittelstück des Tracheenbogens, so blieb in einigen Fällen ein Flügeltracheenstamm erhalten, der von zwei verschiedenen Emissionsorten aus die gesamte primäre Flügeltracheenbildung übernehmen konnte (Fig. 1b, E_1 und E_2). Fielen beide Tracheenstämme aus, so trat an die Stelle einer orthotopen Tracheenbildung eine Reihe von Einzelemissionen primärer Flügeltracheen, die von mehreren heterotopen Tracheenorten in der Leibeshöhle zum Flügelblatt hinzogen (Fig. 1c, E_1 bis E_4). An dieser atypischen Tracheenbildung beteiligten sich die Stümpfe (Stu) der degenerierten Flügeltracheenstämme an den Beintracheen (Fig. 1c, E_3) und auch diese selbst (E_1 und E_2); auch vertrat ein dorsaler Ast der Beintrachee (dTr) den unterhalb von ihm ausfallenden Flügeltracheenstamm, indem er an seiner Statt Flügeltracheen bildete (E_4).

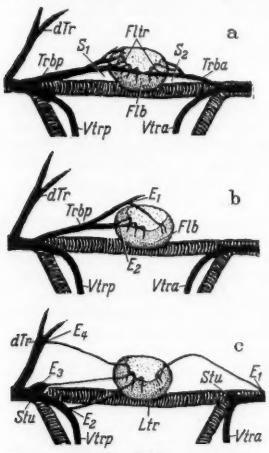


Fig. 1a—c. Die Bildung primärer Flügeltracheen, a durch den Tracheenbogen (schwarz durchgezeichnet), b durch einen Flügeltracheenstamm, c durch die Beintracheen, einen dorsalen Tracheenast sowie den Stumpf eines Flügeltracheenstammes; (halbschematisch; Vergr. etwa 27×). Erklärungen im Text

Verschiedenen Theorien zufolge[3]) entstand bei den Pterygoten im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung der laterale Tracheenbogen aus zwei ursprünglich nicht miteinander vereinigten Flügeltracheenstämmen, von denen einer vermutlich früher vorhanden gewesen war. Es erhebt sich nun die Frage, ob die nach dem Ausfall des Tracheenbogens auftretenden Regulationen primärer Flügeltracheen durch einen Flügeltracheenstamm bzw. die phylogenetisch älteren Beintracheen nicht einem ursprünglicheren Zustand der Flügeltracheenbildung überhaupt entsprechen könnten.

Zoologisches Institut der Universität, Saarbrücken

M. E. LEMPPENAU

Eingegangen am 1. September 1960

[1]) KUNTZE, H.: Z. Morph. u. Ökol. Tiere 30, 544 (1936). — [2]) KÖHLER, W.: Z. Morph. u. Ökol. Tiere 24, 582 (1932). — [3]) WEBER, H.: Fortschr. Zool. 5, 51 (1939).

Anlockung weiblicher Stechmücken (Aëdes aegypti L., Culicidae) mit Duftstoffen

Zur Aufklärung der anlockenden Wirkung von Blut auf Stechmückenweibchen wurde die Anflugreaktion in gleicher Weise vorbehandelter *Aëdes aegypti* ♀♀ unter konstanten Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Beleuchtung) auf Körperflüssigkeiten und einige Chemikalien in einem Olfaktometer, einer Abwandlung der von LAARMAN[1]) beschriebenen Apparatur, untersucht. Die Stoffe wurden entweder auf Papierstücke aufgetragen und in einem Kolben in der Versuchseinrichtung erwärmt und verdampft oder als wäßrige Lösungen von einem Luftstrom durchperlt, so daß die Substanzen in den Luftstrom kamen. Der Test war ein Wahlversuch für je 50 ♀♀ zwischen zwei gleichwertigen Luftströmen, deren einer dufthaltig war. Die Differenz zwischen den Anflügen in gleicher Zeit auf die Dufteinströmöffnung und die Vergleichsöffnung wurde als Maß für die Anlockung genommen. Versuchsbedingungen: 29° C und 50—60% relative Feuchtigkeit im Versuchsraum bei einem Temperaturanstieg um 1,0—2,0° C/7,5 cm und einem Feuchtigkeitsanstieg um 40—50% relativer Feuchtigkeit/7,5 cm. Strömungsgeschwindigkeit 2,3—3,0 cm/sec.

Übereinstimmend mit den Ergebnissen von BURGES und BROWN[2]) zeigten Rinderblut und auch *Urin* im Olfaktometer eine deutliche Anlockung. Nach der chemischen Aufarbeitung war nur eine Fraktion des Ätherauszuges in großer Verdünnung wirksam. Die in dieser Fraktion enthaltenen stellungsisomeren *Diphenole* (Fig. 1) erzeugten selbst in geringen Mengen Anlockwirkungen, während *Phenol* anhaltende Schreckreaktionen auslöste. Papierchromatogramme dieser

Tabelle 1

Menge in γ	Oestron 1,25 ·			3,17 β Oestradiol 1,4 ·			3,16α, 17β Oestriol 8,7 ·		
	n	Anfl.	st	n	Anfl.	st	n	Anfl.	st
10	8	37,7	1,74	8	55,7	1,83		—	
1	16	58,5	2,81	8	59,8	3,47		—	
10^{-1}	14	62,7	6,17	8	56,4	1,39	20	59,4	3,45
10^{-2}	10	57,2	3,25	8	57,0	2,63		—	
10^{-3}	8	54,1	0,92	8	64,4	3,14	20	53,8	2,3
10^{-4}	12	57,1	1,23	8	62,1	4,66		—	
10^{-5}	4	42,6	1,61	8	63,8	4,78	20	58,1	6,26
10^{-6}		—		8	52,6	0,61		—	
10^{-7}		—		8	56,1	0,88	20	60,8	3,4
10^{-9}		—		12	59,7	2,84	20	58,5	3,3

n = Anzahl der Wiederholungsversuche mit je 50 ♀♀. — Anfl. = Anflüge: Mittlere Anflughäufigkeit auf der Testseite in Prozent der Gesamtanflüge auf Test- und Kontrollseite. — st = Student-Abweichung.

Fraktion wurden entsprechend den Laufstrecken von Vergleichssubstanzen in mehrere Zonen zerschnitten und nach Beseitigung der Lösungsmittel im Olfaktometer untersucht. Der Streifen mit ausgeprägter Duftwirkung stimmt mit der *Oestrogen*-Zone überein (Fig. 2). Ein weiteres Maximum sowie ein breiter Wirkungsbereich um den Startpunkt konnte noch keiner bestimmten Substanz zugeordnet werden. Der Test reiner Oestrogenpräparate (Tabelle 1) ergab noch eine hohe Empfindlichkeit der Mücken auf $8{,}7 \cdot 10^{-9}\,\gamma$ zur Verdampfung aufgetragener Substanz. Für *Equilenin* und 3,17-*Androstandion*, letzteres in seiner Duftwirkung etwas schwächer, ließen sich auch noch bei $10^{-5}\,\gamma$ positive Reaktionen der

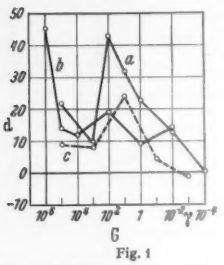


Fig. 1

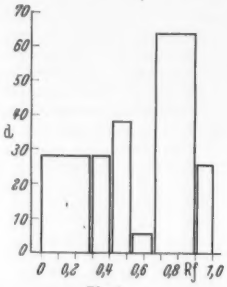


Fig. 2

Fig. 1. Differenz *d* der Anflüge zwischen Duft- und Vergleichseinströmöffnung in Abhängigkeit von der zur Verdampfung gebrachten Gewichtsmenge *G*. *a* Brenzkatechin, *b* Resorcin, *c* Hydrochinon

Fig. 2. Vergleich der Duftstoff-*Rf*-Werte eines Chromatogramms der wirksamen Fraktion mit den zugehörigen Anflugdifferenzen *d*

Mücken nachweisen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß nur die vom Filterpapier abgedampften Duftstoffe zur Wirkung kommen und nicht alle Molekeln vom Luftstrom fortgeführt werden.

Die Untersuchungen von SCHAERFFENBERG und KUPKA[3]) über die Wirkung von Aminosäuren als Duftstoffe wurden in der Apparatur nachgeprüft. Dabei ergab sich, daß *Methionin*, ein Gemisch aus *Glykokoll, Alanin, Valin, Leucin* oder *Lysin-Arginin* keine statistisch zu sichernde Wirkung zeigten. Dagegen konnten, wie vermutet, mit der phenolischen Aminosäure *Tyrosin* allein Steckmücken angelockt werden. Doch wirkten auch *Asparaginsäure-Glutaminsäure, Serin-Threonin* sowie *Prolin-Histidin* anlockend auf die Weibchen (Tabelle 2).

Tabelle 2

Aufgetragene Substanzmenge in γ			n	Anflüge	st
Methionin	22	$\cdot 1$	8	48,2	0,45
		$\cdot 10^{-2}$	11	53,8	0,69
Glykokoll	30,5	$\cdot 1$	20	53,0	0,96
Alanin	30,0				
Valin	24,0	$\cdot 10^{-2}$	16	54,6	2,15
Leucin	22,5				
Lysin	26,2	$\cdot 1$	12	56,1	0,9
Arginin	220,0	$\cdot 10^{-2}$	10	63,3	2,65
Tyrosin	24	$\cdot 1$	20	59,8	3,1
		$\cdot 10^{-2}$	10	63,6	3,25
Asparaginsäure	87	$\cdot 1$	20	52,0	0,96
Glutaminsäure	99	$\cdot 10^{-2}$	12	70,6	4,32
Serin	450	$\cdot 1$	12	68,0	5,68
Threonin	32,9	$\cdot 10^{-2}$	10	69,7	7,26
Prolin	27,5	$\cdot 1$	12	65,5	4,88
Histidin	19,8	$\cdot 10^{-2}$	12	68,5	6,06

Die vergleichende Erprobung der Urinfraktionen hatte allerdings ergeben, daß, gleichgültig ob es sich dabei um Fraktionen aus Männer- oder Schwangerenharn handelt, die Phenolfraktion gegenüber der wäßrigen Fraktion, in der die Aminosäuren enthalten waren, die stärkere Duftwirkung aufwies. Der „attraktive Körpergeruch" setzt sich demnach aus mehreren Komponenten zusammen, die einander ersetzen oder ergänzen können, nicht aber erst als Mischung wirken. Unter den verschiedenen Wirtsduftstoffen scheinen die phenolischen Verbindungen wegen ihrer Wirksamkeit selbst in sehr geringen Mengen, darunter besonders die Steroide, die stärkste Lockwirkung zu besitzen. Die unter anderen von RAHM[4]) und THOMAS[5]) bewiesene unterschiedliche Anlockung durch verschiedene Personen könnte durch die schwankenden Steroidmengen im Blut der Individuen erklärt werden. Bei der Wirtsorientierung richten sich die Stechmücken in Wirtsnähe nach einem Temperatur-Feuchtigkeitsgefälle und fliegen die höchste CO_2-Konzentration auch quer zur Windrichtung an, während als Fernlockstoffe die Duftstoffe des Wirtes die Mücken lediglich zum Anflug gegen den Wind und zu einem charakteristischen Suchverhalten aktivieren.

Herrn Prof. H. TISCHNER und Herrn Dozent Dr. H. RISLER möchte ich für die Anregung zu diesen Untersuchungen und ihre Hilfe danken. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse und der Methode folgt in der Z. vergl. Physiol.

Zoologisches Institut der Universität, Tübingen

PETER ROESSLER

Eingegangen am 5. August 1960

[1]) LAARMAN, J. J.: Diss. Utrecht 1955. — [2]) BURGES, L., u. A. W. A. BROWN: Bull. Entomol. Res. **48**, 783 (1957). — [3]) SCHAERFFENBERG, B., u. E. KUPKA: Naturwissenschaften **46**, 457 (1959). — [4]) RAHM, U.: Acta tropica **13**, 319 (1956). — [5]) THOMAS, T. C. E.: Brit. Med. J. **1951**, 1402.

Beitrag zur Analyse der Werbetanzformen der Honigbiene

Zur Untersuchung der Entwicklung des Tanzgeschehens in Völkern tanzerfahrungsloser, nahezu gleichalter Jungbienen wurden etwa 2000 Bienen nach Schlupf im Thermostaten individuell gezeichnet und die nie geflogenen Bienen in einen heizbaren Beobachtungsstock auf Waben mit geringen Vorräten an Honig und Pollen übertragen. In einem dem Flugloch vorgebauten Futterkasten konnte zweimolare Zuckerlösung geboten werden. Während der jeweiligen Fütterung wurde gleichzeitig der Lichtkegel einer 60 W-Lampe aus 50 cm Entfernung auf den Wabenbezirk hinter dem Stockeingang gerichtet [Anstoßverfahren[1a])]. Ohne neuerliche Eingriffe ließ sich somit das gesamte Verhalten jeder den Futterplatz aufsuchenden Biene kontrollieren. Die Tabelle beschränkt sich auf die Wiedergabe des Verhaltens von 3 Bienen im Laufe von 6 Anstoßversuchen, wobei gleichzeitig das erstmalige Auftreten von Rundtanzformen[1c]), [2]) erfaßt wurde.

Obwohl in einzelnen Fällen bereits 4 Tage alte, tanzerfahrungslose Bienen schon nach ihrem ersten Besuch an der Futterstelle einen Rundtanz aufführten, demonstriert das Verhalten der drei aufgeführten den häufigeren Fall, daß der erstmaligen Aufführung eines Rundtanzes eine Reihe anderer Verhaltensweisen vorausgehen. Besonders interessant erscheint folgendes Verhalten: Von der Futteraufnahme (F) kommend, gibt die „Sammlerin" zunächst an einige Stockgenossinnen Futter ab (FA), beschreibt plötzlich einen engen Halbkreis, läuft einige Zentimeter auf der Wabe weiter, beschreibt wieder einen engen Halbkreis, eilt wiederum weiter und kann diese „Wendungen" noch mehrfach wiederholen. Sie kann ihr Verhalten auch durch weitere Futterabgaben unterbrechen oder mit anderen charakteristischen Verhaltensweisen, z. B. dem „Schwänzelnden Durchwinden"[1e]) kombinieren. Man hat den Eindruck, daß eine solche Biene die normalerweise den Rundtanz einleitende Wendung noch nicht zur vollen Rundtanzfigur vollenden „kann". Diese Vorstellung wird gestützt durch die Beobachtung, daß Bienen über solche „Tanzansätze" (TA) schließlich zu Rundtanzformen kommen können. Der Übergang zum Rundtanz kann sich den Tanzansätzen unmittelbar anschließen, einer neuerlichen Futteraufnahme folgen oder erst bei einem späteren Anstoßversuch geschehen. Tanzansätze wurden auch im Verlauf von Anstoßversuchen an zuvor frei geflogenen Völkern beobachtet[1b]). Die betreffenden Bienen gingen später — im Verlauf des gleichen Versuchs — zum Teil zu Schwänzeltänzen[2]) über. Dies geschah häufig dann, wenn ihnen bei Tanzansätzen interessierte Stockgenossinnen nacheilten. Tanzansätze kommen in frei ausfliegenden Völkern vor.

Ein Vergleich von Werbetanzformen [Rund-Sichel[3])-Schwänzeltänze] zeigt, daß die oben als Tanzansatz bezeichnete Wendung in allen diesen Tanzformen enthalten ist. Beim Rundtanz schließt sich an solche Wendungen jeweils ein Rundlauf an, im Sicheltanz werden durch sie die Sichelspitzen markiert, und im Schwänzeltanz leiten sie jeweils einen Wendungslauf ein. Man kann die Wendungen folglich als ein diesen Werbetanzformen gemeinsames Element auffassen, das jedoch auch isoliert als Tanzansatz auftreten kann.

Untersuchungen an Trigona iridipennis SMITH (Meliponiden) haben gezeigt, daß die Alarmierung der Stockgenossinnen in einem erregten Herumlaufen der erfolgreichen Sammlerin im Nest besteht, wobei sie gleichzeitig Schüttelbewegungen mit dem ganzen Körper ausführt[4]). Diese Alarmierungsform kann eventuell mit dem Schwänzelnden Durchwinden von Apis mellifica verglichen werden. Beiden Verhaltensweisen ist gemeinsam, daß sie sich über ein größeres Areal ausdehnen und die Tänzerin mit vielen Stockgenossinnen Kontakt hat, ihre Alarmierung aber noch keine Entfernungs- und Richtungsangaben enthält. Für deren Übermittlung ist es offenbar notwendig, daß die Tanzfigur lokalisiert wird. Die in den Werbetänzen enthaltenen Wendungen ermöglichen eine häufige Wiederholung der Tanzfigur an nahezu der gleichen Wabenstelle. Man kann sie demnach auch als Bindeglied zwischen dem Durchwinden und den Werbetanzformen auffassen. Die Beobachtung, daß Tanzansätze vielfach dem Durchwinden folgen oder mit ihm kombiniert auftreten, kann in diesem Sinne gedeutet werden.

Tabelle. *Individuelles Verhalten der Bienen Nr. 304, 2 und 11 in einem Volk tanzerfahrungsloser Jungbienen.* (Protokollauszug aus Aufzeichnungen über 10 Anstoßversuche)

Datum Anstoß*)	Nr. 304		Nr. 2		Nr. 11	
	Zeit	Reaktion**)	Zeit	Reaktion	Zeit	Reaktion
29.10. 1. A. 20.45–21.30	21.10	F, FA	–	–	–	–
30.10. 2. A. 17.15–18.42	–	–	17.24 17.34 17.55 18.11	F F, FA(+S) F, FA(+S) FA(+S), AV	17.25 17.28 17.45	F F, FA F, FA, Dw, AV
31.10. 4. A. 19.15–20.16	19.51 20.00 20.14	F, FA+AV FA, TA, AV FA(+S), AV	19.18 19.22 19.36 19.43 19.51 19.53 20.12	F, FA, Dw(+S), TA F, FA, Dw(+S) F, Dw, FA(+S), TA F, FA, TA F, FA F, FA(+S), Dw(+S) F, FA(+S)	–	–
1.11. 5. A. 11.15–12.22	11.31 11.49 11.56 12.00 12.10 12.12 12.19	F FA, R(+S), FA FA, AV F, FA FA, Dw, TA F, R(+S) F, R(+S), R	11.52 12.02 12.07	F, FA(+S), AV F, R(+S) F, FA, Dw(+S)	12.16	AV (länger als 8 min)
1.11. 6. A. 18.20–19.35			18.22 18.30 18.35 18.38 18.43 18.57 19.10 19.24	F, FA F, FA, Dw(+S) FA, AV, Dw(+S) F, FA, TA F, FA(+S), TA F, Dw(+S), TA F, R(+S) FA, R(+S)	18.20 18.51 18.58 19.15 19.19 19.29	F, Fa, Dw(+S) F, Dw F, FA(+S) Dw, (+S), TA FA, Dw(+S), TA F, Dw(+S), R(+S)
3.11. 9. A. 13.30–14.50	14.10 14.17 14.23 14.35 14.44	ruhig beginnt zu rennen F FA FA, R, AV	14.19	AV (länger als 15 min)	14.00 14.18 14.28 14.32 14.40 14.44	F, FA F, R(+S) F, R(+S), FA R(+S) F, R(+S) F, R

*) 1. A. = 1. Anstoß. — **) F = Biene nimmt Futter auf; FA = Futterabgabe; Dw = Durchwinden; AV = dorsal-ventrale Abdominalvibrationen[5]); TA = Tanzansatz; R = Rundtanz; (+S) = zusätzliche Schwänzelbewegungen.

Bonn, Lennéstraße 54

WOLFGANG WITTEKINDT

Eingegangen am 1. September 1960

[1]) WITTEKINDT, W.: Naturwissenschaften a) **42**, 567 (1955); b) **44**, 569 (1957); c) **47**, 335 (1960). — [2]) FRISCH, K. v.: Österr. zool. Z. **1**, 1 (1946). — [3]) HEIN, G.: Experientia [Basel] **6**, 142 (1950). — TSCHUMI, P.: Schweiz. Bienenztg. **73**, 129 (1950). — [4]) LINDAUER, M.: Z. vergl. Physiol. **38**, 521 (1956). — [5]) MILUM, V. G.: Amer. Bee J. **95**, 97 (1955). — WITTEKINDT, E., u. W. WITTEKINDT: Leipz. Bienenztg. **74**, 160 (1960).

Geruch und Geschmack bei den augenlosen Höhlenfischen Anoptichthys Jordani, Hubbs und Innes und Anoptichthys Hubbsi, Alvarez

Infolge der mehr oder weniger weitgehenden Rückbildung der Augen bei den mexikanischen Höhlenfischen der Gattung Anoptichthys spielt der Lichtsinn für die Orientierung im Raum auch bei Helligkeit oder Halbdunkel nicht die Rolle wie sonst bei Augentieren. — Daß auch bei *Anoptichthys* Lichtreize in erheblichem Umfang rezipiert werden, haben vor allem die Dressurversuche von KUHN und KÄHLING[1]) gezeigt. Es ist daher mit der Möglichkeit zu rechnen, daß andere Sinnesorgane kompensatorisch höhere Leistungen aufweisen als bei Fischen mit funktionstüchtigen Augen. Für den Ferntastsinn konnte dies HAHN[2]) nachweisen. Da die Augen bei den Teleosteern im allgemeinen mindestens primär der Nahorientierung dienen — wie dies schon in der Ruhestellung der Linse im Sinn einer Nahakkomodation zum Ausdruck kommt —, so wäre insbesondere daran zu denken, daß der *Geschmacksinn* eine Höherentwicklung erfahren hat. Im Dressurversuch wurde daher zunächst das Unterscheidungsvermögen von reinen Schmeckstoffen (Traubenzucker 25%, Kochsalz 5%, Essigsäure 1% und Chinin 0,5%) unter Anwendung der Ergebnisse insbesondere von STRIECK[3]) geprüft. Die Lösungen wurden aus einer Pipette vorsichtig, d.h. ohne Erschütterungen, gleichzeitig mit Futter in das Aquarienwasser eingeführt. Vom 5. Tag an zeigten die Tiere schon deutliche Reaktionen, von da an wurde (ohne Strafe) in unregelmäßigen Abständen ein Warnstoff (ohne Futter) gegeben. Je nach der Kombination von Dressur- und Warnstoff dauerte die Dressur 4 bis 11 Tage. Die vier Geschmacksmodalitäten werden eindeutig voneinander unterschieden. Entsprechendes konnte für reine *Riechstoffe* (Cumarin, Moschus und Skatol) festgestellt werden. Durch Ausbrennen der Nasengruben bzw. des Riechhirns mit dem Thermokauter konnte geprüft werden, ob das Riechorgan auch an der Rezeption von reinen Geschmackreizen beteiligt ist: Geschmackdressuren lassen sich einwandfrei durchführen, eine Reaktion auf Riechstoffe erfolgt nie. Das reziproke Experiment ist nicht durchführbar, zumal bei *Anoptichthys* die Geschmacksknospen sich über die ganze Körperoberfläche verteilt vorfinden[4]). *Schwellenwertbestimmungen für Schmeckstoffe im Vergleich zu anderen Teleosteern weisen darauf hin, daß der Geschmacksinn bei Anoptichthys offenbar besser ausgebildet ist als z.B. bei der Elritze*[3]), z.B. Traubenzucker: Elritze 10 bis 11%; *Anoptichthys* 0,005%; — Kochsalz: Elritze 6%; *Anoptichthys* 0,0023%; — Essigsäure: Elritze 0,15%; *Anoptichthys* 0,0035%; — Chinin: Elritze 0,02%; *Anoptichthys* 0,0006%. Naturgemäß sind in der Methodik der Versuche gewisse unvermeidbare Fehlerquellen (z.B. Verdünnung beim Eintropfen, Anreicherung ohne Wasserwechsel) gegeben, so daß die oben angegebenen Werte nicht unbedingte absolute Größen darstellen. Eine einwandfreie fixierte Assoziation geht bei *Anoptichthys* nach 3 bis 4 Tagen verloren, während die Elritze nach einer Versuchspause von 4 Wochen die erlernte Aufgabe noch einwandfrei löst.

Zoologisches Institut der Universität, Köln (Direktor: Prof. Dr. OTTO KUHN)

ILSE HUMBACH

Eingegangen am 15. September 1960

[1]) KUHN, O., u. J. KÄHLING: Experientia [Basel] **10**, 385 (1954). — [2]) HAHN, G.: Diss. Köln 1957. — [3]) STRIECK, R.: Z. vergl. Physiol. **2**, 122—154 (1924). — [4]) BREDER, C.M., u. P. RASQUIN: Zoologica [New York] **28**, 169 (1943).

Cyclodendron KRSL., eine lycopodiale Sonderform der permischen Gondwana-Flora Afrikas

Daß zwischen den Permfloren der Nordhalbkugel und den gleichaltrigen Floren der Südländer (Gondwana-Floren) große Gegensätze bestehen, ist seit langem anerkannt. Wie weit das auch für die Pflanzengruppe der Lycopodiales gilt, ist umstritten. Ebenso werden die Beziehungen der einzelnen Gondwana-Floren untereinander verschieden beurteilt. *Lycopodiopsis*[1]) sollte nach ZEILLER[2]) ein gewöhnliches *Lepidodendron* sein.

Andererseits sollten nach EDWARDS[3]) zu der brasilianischen *Lycopodiopsis* neben bisher zu *Lepidodendron* oder *Sigillaria* usw. gestellten Arten auch das afrikanische *Cyclodendron* gehören.

Die Prüfung eines umfangreichen Materials aus Brasilien und Afrika hat ergeben, daß die brasilianische *Lycopodiopsis derbyi* von den nordischen Lycopodiales verschieden ist. Sie besitzt weder das eigenartige Durchlüftungs- oder Parichnosgewebe jener noch eine Ligula. Beides gilt zwar auch für *Cyclodendron*, dessen Beblätterung jedoch davon verschieden ist. Es ist heterospor, doch bilden die Sporophylle keine Zapfen. Vielmehr wechseln an den normalen Laubsprossen vegetative und fertile Zonen miteinander ab.

Die mit Unterstützung der deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführten Arbeiten über die Gondwana-Floren werden fortgesetzt. An anderer Stelle soll darüber ausführlich berichtet werden.

Botanisch-Paläobotanische Abteilung des Forschungsinstituts Senckenberg, Frankfurt a. M.

R. Kräusel

Eingegangen am 17. September 1960

[1]) Renault, B.: Bull. Soc. Hist. natur. Autun 3, 109 (1890). — [2]) Zeiller, R.: C. R. Acad. Sci. [Paris] 127, 245 (1898). — Edwards, W.N.: Palaeobotanist 1, 159 (1952).

Besprechungen

Born, Max, und Emil Wolf: Principles of Optics. Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light. London—New York—Los Angeles: Pergamon Press 1959. XXVI, 803 S., 364 Fig. Gr.-8°. Gzl. £ 6.— net.

Vor 27 Jahren erschien Max Borns berühmt gewordenes Lehrbuch der Optik. Zusammen mit einem jüngeren Mitarbeiter legt Born jetzt eine Neufassung in englischer Sprache vor; einzelne Kapitel wurden dabei von weiteren Verfassern beigetragen. Einige Teile wurden ziemlich weitgehend aus dem alten Lehrbuch übernommen, andere wurden stark überarbeitet, wieder andere wurden ganz fortgelassen bzw. neu hinzugefügt. Der Umfang des neuen Buches ist nicht viel größer als der des alten (füher 600, jetzt 750 Seiten); dafür wurde allerdings die Moleküloptik, die fast die Hälfte des alten Buches ausmachte, fortgelassen bis auf eine elementare Behandlung der Dispersionstheorie.

Die stark erweiterten bzw. neu hinzugekommenen (insbesondere die nicht von Born und Wolf selbst verfaßten) Kapitel gehen zum Teil mehr, als der Titel des Buches erwarten läßt, in die praktische Optik; das gilt besonders für die sehr ausführliche Aufzählung und Darstellung von Interferometern. Auch die eingehende Behandlung der geometrisch-optischen Theorie und der Beugungstheorie der Bildfehler zeigt das Interesse der Verfasser für praktische Fragen; die Darstellung der Beugungstheorie der Bildfehler beruht zum Teil auf Arbeiten der letzten Jahre. Ebenso werden in dem neuen und wichtigen Kapitel über Kohärenz Forschungsergebnisse der jüngsten Vergangenheit wiedergegeben; zum Teil wurden sie von dem jüngeren Verfasser gewonnen. In dem Kapitel über strenge Lösungen von Beugungsproblemen lernt man, wie groß der Fortschritt seit Erscheinen des alten Lehrbuchs ist; damals konnten nur die klassischen Sommerfeldschen Arbeiten dargestellt werden.

Auch in den mehr prinzipiellen Kapiteln gibt es einige Änderungen. Der Rezensent begrüßt, daß bei Gewinnung der geometrischen Optik aus der Wellenoptik für räumlich langsam veränderliche Brechzahl nach Sommerfeld und Runge jetzt auch die zweite Näherung behandelt wird; sie liefert physikalisch sehr einsichtige Aussagen über die Änderung der Feldvektoren längs eines Lichtstrahls. Die Darstellung leidet allerdings etwas darunter, daß der Zusammenhang zwischen der intuitiven Vorwegnahme der Resultate und ihrer Ableitung nicht sehr deutlich gemacht wird. Mit der Behandlung der sprunghaften Änderung der Brechzahl in demselben Kapitel stimmt der Rezensent nicht überein; seiner Ansicht nach handelt es sich hier um einen Fall, der von dem der langsamen Veränderlichkeit ganz verschieden ist und anders behandelt werden muß, nämlich durch explizites Ansetzen einer einfallenden, einer reflektierten und einer gebrochenen Welle der Form, wie sie bei langsam veränderlicher Brechzahl auftreten. Es gibt eben zwei physikalisch wesentlich verschiedene Probleme, die sich beide im Grenzfall genügend kurzer Wellenlänge näherungsweise geometrisch optisch beschreiben lassen: die räumlich sehr langsam und die räumlich sehr schnell veränderliche Brechzahl.

Der Rezensent bedauert, daß die Ableitung der Kirchhoffschen Beugungstheorie in der Neufassung des Buches an logischer Schärfe verloren hat. In dem Kirchhoffschen Integral tritt ein Beitrag über eine unendlich ferne Oberfläche auf; früher wurde dieser Beitrag sorgfältig analysiert, jetzt wird er fortargumentiert. Die Diskussion dieses Beitrages ist aber wichtig, wenn man verstehen will, warum im Kirchhoffschen Integral als Testwelle die auslaufende und nicht die einlaufende Kugelwelle eingesetzt wird: nur bei auslaufender Kugelwelle verschwindet der Beitrag der unendlich fernen Oberfläche, wenn die Grenzbedingungen im Unendlichen dem Problem angemessen festgelegt werden.

Diese wenigen Einwände berühren aber nicht die Feststellung, daß mit der Neufassung ein Lehrbuch der Optik vorliegt, das die Vorzüge des alten Lehrbuchs beibehält und in dem die Entwicklung der letzten Jahrzehnte berücksichtigt worden ist; es wird sicher viel gelesen und benutzt werden. Vielleicht ist allerdings etwas von dem Charme des alten Lehrbuchs der Optik verloren gegangen.

G. Lüders (Göttingen)

Helfferich, F.: Ionenaustauscher. Bd. I: Grundlagen: Struktur, Herstellung, Theorie. Weinheim/Bergstraße: Verlag Chemie 1959. VIII, 520 S. u. 153 Abb. Gr.-8°. Gzl. DM 48.—.

Der vorliegende Band geht nach einem Überblick über Geschichte, Aufbau und Wirkungsweise der Ionenaustauscher zunächst auf die Herstellung der verschiedenen Typen und auf die Kapazität von Austauschern ein. In dem umfangreichen Kapitel über Gleichgewichte werden Modellvorstellungen über Ionenaustauscher besprochen und Quellung, Adsorption und Ionenaustauschgleichgewichte erläutert. Weitere Kapitel behandeln die Kinetik der Vorgänge in Ionenaustauschern, elektrochemische Eigenschaften, die besonders weit vorangeschrittene Theorie der Austauschermembranen sowie Arbeitsweise und Anwendung von Ionenaustauscherpackungen. Schließlich ist auch dem Verhalten in nichtwäßrigen Lösungsmitteln und in Lösungsmittelgemischen, der katalytischen Wirksamkeit von Ionenaustauschern und den Elektronenaustauschern je ein Kapitel gewidmet.

Der Gültigkeitsbereich der Theorien wird kritisch betrachtet. Zur Erläuterung experimenteller Meßanordnungen werden Abbildungen gebracht, die oft auch apparative Einzelheiten enthalten. Am Ende jedes Kapitels ist eine Zusammenfassung zu finden.

Druckfehler kommen kaum vor. In dem Kapitel über Herstellung wird mancher Leser vielleicht „Kochrezepte" vermissen, nachdem für wissenschaftliche Zwecke geeignete Ionenaustauschermembranen im Handel kaum erhältlich sind. Austauscherpackungen sollten als Mischkörper, nicht als Mischphasen (S. 423) bezeichnet werden.

Das Buch ist in einem leicht lesbaren Stil geschrieben und enthält über 1200 Literaturzitate. Es dürfte jedem, der auf dem Gebiet der Austauscher arbeitet, gute Dienste leisten, zumal eine umfassende Darstellung in deutscher Sprache bisher fehlte.

M. Becker (Göttingen)

Berichtigung

zu der Kurzen Originalmitteilung „Zuckerester von Hydroxy-zimtsäuren in Petunia hybrida" von L. Birkofer, Ch. Kaiser und H. Kosmol, Naturwissenschaften **47**, 469 (1960). Auf S. 470, linke Spalte, Abschnitt 5, Zeile 9 und 10 muß es heißen: „....., daß IV 1-Kaffoyl-β-D-glucose und V 1-Feruloyl-β-D-glucose sind".

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Günter Holtz, Berlin-Wilmersdorf, Heidelberger Platz 3. — Springer-Verlag OHG Berlin-Göttingen-Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany

Soeben erschien:

Physik

Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen

Von Dr. Christian Gerthsen †

Bearbeitet und ergänzt von Dr. Hans O. Kneser, o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart

Sechste Auflage

Mit 653 Abbildungen. XVI, 569 Seiten Gr.-8°. 1960.

Ganzleinen DM 39,60

AUS DEN BESPRECHUNGEN DER VIERTEN AUFLAGE

„... Das Gerthsen'sche Buch mit seinen scharf disponierten Kapiteln, der klaren Unterteilung, der knappen Formulierung und den sorgfältigen Zeichnungen erweckt schon beim Anfänger Vertrauen. Wer die Physik näher kennt und hinter die Kulissen der Darstellung schaut, erkennt manchen klugen Weg und manche geschickte Formulierung eines Autors, der ebenso Pädagoge wie Wissenschaftler ist..." *Physikalische Blätter*

SPRINGER-VERLAG

BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Lichtelektrische Meßgeräte

Photozellen · Selenphotoelemente · CdS-Kristallzellen
Germaniumzellen · Silizium-Photoelemente

Beleuchtungsmesser 0,001—100 000 Lux

Kolorimeter
- Universal-Kolorimeter
- Medico-Kolorimeter
- Titrier-Kolorimeter
- Röhren-Kolorimeter
- Becherglas-Kolorimeter
- Durchfluß-Kolorimeter
- Spektral-Kolorimeter

Spektralphotometer 200—20 000 nm

Flammenphotometer mit Membrankompressor

Multiflex-Galvanometer ab 10^{-8}—10^{-11} A

Farbanalysator

Glanzmesser · Reflexionsmesser

Transparenz- und Schwärzungsmesser

Leukometer

pH-Acidometer · Taschen-pH-Meter

Spezialfabrik lichtelektr. Zellen und Apparate

Dr. B. LANGE

Berlin-Zehlendorf, Hermannstraße 14-18

Soeben erschien:

Handbuch für Sternfreunde

Wegweiser für die praktische astronomische Arbeit

Unter Mitwirkung von A. Güttler, W.-D. Heintz, W. Jahn, R. Kühn, R. Müller, W. Petri, W. Sandner, F. Schmeidler und K. Schütte

Herausgegeben von Günter Dietmar Roth, München

Mit 112 Textabbildungen und 29 Tabellen im Anhang. XII, 360 Seiten Gr.-8°. 1960. Ganzleinen DM 48,—

INHALTSÜBERSICHT

Technik und Theorie: Einführung in die astronomische Literatur und Nomenklatur. Von W.-D. Heintz. Die Beobachtungsinstrumente des Amateurastronomen. Von W. Jahn. Die Strahlungsempfänger des Amateurs. Von R. Kühn. Angewandte Mathematik für Amateurastronomen. Von F. Schmeidler. Grundbegriffe der sphärischen Astronomie. Von K. Schütte. Die irdische Atmosphäre und ihre Wirkung. Von F. Schmeidler · Beobachtung und Praxis: Die Sonne. Von R. Müller. Beobachtung totaler Sonnenfinsternisse. Von W. Petri. Der Mond. Von G. D. Roth. Mondfinsternisse. Von A. Güttler. Die Beobachtung der Sternbedeckungen. Von A. Güttler. Künstliche Erdsatelliten. Von W. Petri. Die Beobachtung der Planeten. Von W. Sandner. Die Beobachtung der Kometen. Von A. Güttler. Sternschnuppen und Feuerkugeln. Von F. Schmeidler. Leuchtende Nachtwolken, Polarlichter, Zodiakallicht. Von W. Sandner. Die Photometrie von Fixsternen und Planeten. Von W. Jahn. Doppelsterne. Von W.-D. Heintz. Die Objekte der Milchstraße und die Weltinseln. Von R. Kühn · Anhang: Tabellen. Literaturverzeichnis. Astronomische Organisationen. Gebräuchliche Abkürzungen astronomischer Organisationen und Zeitschriften · Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Handbuch der Physik · Encyclopedia of Physics

Herausgegeben von S. FLÜGGE, Marburg, Deutschland

54 Bände mit Beiträgen in deutscher, englischer und französischer Sprache

Im Januar 1961 wird erscheinen:

In Gruppe III

Mechanisches und thermisches Verhalten der Materie
Mechanical and thermal behaviour in matter

(umfaßt die Bände VI—XV)

Band XI/1

Akustik I · Acoustics I

Mit etwa 197 Figuren. Etwa 456 Seiten Gr.-8°. 1960.

(3 Beiträge in englischer und 2 Beiträge in deutscher Sprache)

Vorbestellpreis gültig bis zum Erscheinen Ganzleinen DM 102,40

Endgültiger Ladenpreis nach Erscheinen Ganzleinen DM 128,—

Bei Verpflichtung zur Abnahme des Gesamtwerkes gilt der Vorbestellpreis nach Erscheinen des Bandes weiter als Subskriptionspreis bis zum Abschluß des Werkes; jedoch ist jeder Band und Bandteil einzeln zum Ladenpreis käuflich

INHALTSÜBERSICHT

Linear acoustic theory. By PH. M. MORSE and K. U. INGARD, Cambridge, Mass./USA · Schallabsorption und -dispersion in Gasen. Von H. KNESER, Stuttgart/Deutschland · Schallabsorption und -dispersion in wässrigen Elektrolytlösungen. Von K. TAMM, Göttingen/Deutschland · Dispersion and absorption of sound waves in liquids and mixtures of liquids (excluding electrolytic solutions). By D. SETTE, Rome/Italy · Dispersion and absorption of sound in high polymers. By W. P. MASON, Murray Hill, N.Y./USA · Sachverzeichnis (Deutsch—Englisch), Subject Index (English—German).

Aus Gruppe III liegen folgende Bände vor:

6. Band: Elastizität und Plastizität. Mit 254 Figuren. VII, 642 Seiten Gr.-8°. 1958. In englischer Sprache. Ganzleinen DM 145,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 116,—

7. Band/1. Teil: Kristallphysik I. Mit 321 Figuren. VII, 687 Seiten (davon 69 Seiten in englischer Sprache) Gr.-8°. 1955. Ganzleinen DM 122,50 Subskriptionspreis Ganzleinen DM 98,—

7. Band/2. Teil: Kristallphysik II. Mit 190 Figuren. IV, 273 Seiten Gr.-8°.1958. Ganzleinen DM 76,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 60,80

8. Band/1. Teil: Strömungsmechanik I. Mitherausgeber C. TRUESDELL. Mit 186 Figuren. VI, 471 Seiten (davon 237 Seiten in englischer Sprache) Gr.-8°. 1959. Ganzleinen DM 132,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 105,60

9. Band: Strömungsmechanik III. Mitherausgeber C. TRUESDELL. Mit 248 Figuren. VIII, 815 Seiten (davon 733 Seiten in englischer und 64 Seiten in französischer Sprache) Gr.-8°.1960. Ganzleinen DM 198,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 158,40

10. Band: Struktur der Flüssigkeiten. Mit 41 Figuren. VI, 320 Seiten Gr.-8°. 1960. In englischer Sprache. Ganzleinen DM 96,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 76,80

12. Band: Thermodynamik der Gase. Mit 253 Figuren. VI, 686 Seiten (davon 361 Seiten in englischer Sprache) Gr.-8°. 1958. Ganzleinen DM 154,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 123,20

14. Band: Kältephysik I. Mit 215 Figuren. VI, 349 Seiten Gr.-8°. 1956. In englischer Sprache. Ganzleinen DM 72,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 57,60

15. Band: Kältephysik II. Mit 318 Figuren. VII, 477 Seiten Gr.-8°. 1956. In englischer Sprache. Ganzleinen DM 112,— Subskriptionspreis Ganzleinen DM 89,60

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Diesem Heft liegt ein Prospekt bei vom Bibliographischen Institut, Mannheim.